

Aquatraz:

Sluttrapport for biologiprogram og tetthetsprogram – merdgenerasjon 3 på Årsetfjorden

Dokument nr.: AQT-MNH-BIO-011



Rev	Dato	Bakgrunn for utgivelse	Laget av	Sjekket av	Godkjent av
0	08.10.2021	Sluttrapport merdgenerasjon 3 i henhold til plan.	TS	ARS	SH

Aquatraz: Sluttrapport for biologiprogram og tetthetsprogram – merdgenerasjon 3 på Årsetfjorden

Forfattere

Forfattere er kreditert på hvert kapittel eller underkapittel. Biologidelen av Aquatrazprosjektet har knyttet til seg personer fra ulike fagmiljøer for å bistå med dokumentasjon av merdkonseptet, disse er engasjert av Midt-Norsk Havbruk. I tillegg har to fra Midt-Norsk Havbruk bidratt til rapporten.

Redaktør

Torolf Storsul, Gunnar Aunsmo, Alf S. Dalum, Sturla Romstad, Henning Urke, Sara Calabrese, Thomas Larsson og Marte Fjær.

Sendt til Fiskeridirektoratet og Mattilsynet 08.10.2021

Samarbeidspartnere i prosjektet



BARKBEKKEN



**Norsk
Landbruksrådgiving**

PHARMAQ
part of **zoetis**



INAQ



NTNU

NIVA
Norsk institutt for vannforskning



Nofima



PATOGEN

Aqua
kompetanse **AS**

Vet. Sturla Romstad

Innhold

1. Sammendrag	6
2. Innledning.....	9
2.1. Prosjektet og rapportoppbyggingen	9
2.2. Biologiprogrammet og produksjonen på lokaliteten	9
2.3. Teknisk beskrivelse av Aquatraz generasjon 3	11
3. Forkortelser og definisjoner	14
4. Produksjonsresultater	15
4.1. Produksjonseffektivitet – analyse av sentrale produksjonsparametere.....	15
4.1.1. Formål og bakgrunn	15
4.1.2. Biologisk modell	15
4.1.3. Økonomisk modell.....	16
4.1.4. Materiale og metoder	16
4.1.5. Resultater	18
4.1.6. Nåverdiberegning av differanse mellom AQT4 og KTR	19
4.1.7. Diskusjon	20
4.2. Utføring og tilveksthastighet på døggnivå	22
4.2.1. Formål og bakgrunn	22
4.2.2. Metodikk	22
4.2.3. Resultater og diskusjon	23
4.3. Fôrfaktor og akkumulert VF3.....	29
5. Helse og velferd.....	30
5.1. Velferdsvurderinger.....	30
5.1.1. Formål og bakgrunn	30
5.1.2. Metodikk	30
5.1.3. Resultater	31
5.1.3.1. Vekst.....	31
5.1.3.2. Velferdsindikatorer.....	32
5.1.4. Diskusjon	37
5.2. Dødelighet og dødelighetsårsaker	38
5.2.1. Formål og bakgrunn	38
5.2.2. Metodikk	38
5.2.3. Resultater	38
5.2.3.1. Akkumulert dødelighet.....	38
5.2.3.2. Registrerte dødelighetsårsaker	39
5.2.4. Diskusjon	42

5.3.	Helseovervåking med vekt på gjellehelse og hjertehelse	43
5.3.1.	Formål og bakgrunn	43
5.3.2.	Materiale og metode.....	43
5.3.3.	Resultater	44
5.3.3.1.	Gjellehelse	44
5.3.3.2.	Hjertehelse	45
5.3.3.3.	Skjelettmuskel og lever	49
5.3.4.	Oppsummering.....	50
5.4.	Helsekontroller	52
6.	Lakselus	54
6.1.	Formål og bakgrunn	54
6.2.	Områdeinformasjon	54
6.3.	Lusesituasjonen på lokaliteten sammenlignet med sonen	56
6.4.	Lusesituasjonen i AQT4 og KTR	56
6.5.	Diskusjon	58
7.	Adferd	60
7.1.	Formål og bakgrunn	60
7.2.	Metodikk	60
7.3.	Resultater og diskusjon	61
7.3.1.	Datafangst	61
7.3.2.	Horisontal fordeling juli-september 2020.....	63
7.3.3.	Dybdebruk juli- september 2020.....	65
7.3.4.	Horisontal fordeling og dybdebruk AQT4 januar 2021	66
7.3.5.	Dybdebruk AQT4 januar- mars 2021	68
7.3.6.	Avstand mellom registreringer.....	69
7.3.7.	Horisontal fordeling av posisjoner	70
7.3.8.	Dybdefordeling i BP3 og tidligere biologiprogram	71
7.4.	Oppsummering.....	72
8.	Vannstrøm og vannkvalitet	74
8.1.	Formål og bakgrunn	74
8.2.	Aktiv vannutskifting og vannstrøm.....	74
8.3.	Hydrografiske profiler (CTDO)	76
8.4.	Sensordata.....	85
8.5.	Labanalyser vannkjemi	91
8.6.	Dyreplankton/ lakselus i planktontrekk	93
8.7.	Mikroalger	93

8.8.	Konklusjoner vannmiljø.....	95
9.	Produktkvalitet.....	97
9.1.	Kvalitetsvurderinger.....	97
9.1.1.	Formål og bakgrunn.....	97
9.1.2.	Materiale og metode.....	97
9.1.3.	Resultater.....	97
9.2.	Slaktedata.....	103
9.2.1.	Formål og bakgrunn.....	103
9.2.2.	Metodikk.....	103
9.2.3.	Resultater.....	103
9.2.4.	Diskusjon.....	104
10.	Referanser.....	106
11.	Vedlegg.....	108
11.1.	Velferdsscore.....	108

1. Sammendrag

Denne rapporten oppsummerer biologidelen av Aquatrazprosjektet for generasjon 3 av Aquatrazmerden (AG3). Dette er en del av et utviklingstillatelsesprosjekt hvor Seafarming Systems eier konseptet, Midt-Norsk Havbruk oppdretter fisk i merden og bidrar med innspill, mens innleide partnere har bidratt med undersøkelser og vurderinger.

Hensikten med biologiprogrammet er å dokumentere resultater for Aquatrazmerden, se etter forskjeller mot konvensjonell merd og ut fra et biologisk ståsted bidra til videreutvikling av hver generasjon av merdkonseptet og det påfølgende biologiprogrammet. Programmet er gjennomført på lokaliteten 35797 Årsetfjorden, og ble startet ved at fisk som var satt ut i to konvensjonelle merder i januar 2020 ble flyttet til merden Aquatraz 4 (AQT4) 25. juni 2020. Resultatene fra AQT4 er så sammenlignet med kontrollmerd (KTR) med fisk av samme smoltgruppe satt ut på samme tid.

Midt-Norsk Havbruk har dispensasjon til å gjennomføre én syklus i hver av de fire første Aquatrazmerdene med maksimalt 400 000 fisk i hver enhet, og tetthet opp til maksimalt 45 kg/m³. Dispensasjonene er fulgt av et tetthetsprogram som denne rapporten også dekker opp.

Undersøkelser er stort sett gjort i henhold til programmet, med noen mindre avvik som er kommentert under det enkelte kapittel.

Hovedfunn og vurderinger:

- **Produksjonsresultater:**

Effektivitet er analysert ved hjelp av «The Biologic Production-Loss Model» og viser lavere prodkost i AQT4 enn kontrollmerd, selv om investeringskostnadene er høyere. Biologiske forskjeller er betydelige og er både positive og negative for AQT4, enkelte av forskjellene er trolig tilfeldige og kan ikke relateres til teknologien. Det bør i videre utvikling av Aquatrazteknologien fokuseres på hvilke områder Aquatraz har størst potensiale til å forbedre de biologiske prestasjonene og dertil tilhørende økonomiske effekter. Ut fra resultatene i AQT1, og AQT4 synes potensialet størst for tilvekst, dødelighet, kontroll med lus, forbedring i fôrutnyttelse og bedring av produktkvalitet. Dersom en klarer å forbedre de biologiske prestasjonene, slik at de blir gode og stabile, er det et betydelig potensial til å utvikle Aquatraz til å bli en kostnadseffektiv teknologi.

Tilvekst målt som VF3 på dagnivå er undersøkt, og det er spesielt sett på trender relatert til tetthet. Det var betydelige vektavvik ved slakt, noe som gir usikkerhet i analysen. Det ble derfor valgt å se på ulike scenario ut fra når man antar at avvikene har oppstått. Fra disse scenarioene er det tydelig at det er en større sammenheng mellom VF3 og tetthet for kontrollmerden enn for AQT4. Resultatene for kontrollmerden indikerer at høye tettheter korrelerer med lav VF3, men det er ingen tydelig trend som indikerer dette for AQT4. Sammenhengen mellom VF3 og tetthet kan også være påvirket av andre bakenforliggende årsaker.

- **Helse og velferd:**

Velferdsscoreing er gjort etter Fishwell-standard, der 17 operative velferdsindikatorer er fulgt opp gjennom forsøksperioden. Det er ingen indikasjoner på forskjeller knyttet til merdsystem, men det er signifikante forskjeller for skjelltap, hudblødning og aktiv halefinneskade som samvarierer med tidspunkt for håndtering/avlusing.

Dødelighet og dødelighetsårsaker er vurdert ut fra akkumulert dødelighet som registrert i Fishtalk. Usikkerhet i tallgrunlaget skaper en viss usikkerhet i vurderingene, men det er betydelig grad av samsvar i det store bildet av dødelighet og dødelighetsårsaker mellom AQT4 og kontrollmerden samt merder det ble splittet til. Det er høyere dødelighet etter første

håndtering/avlusing i begge merdsystemene, og dødeligheten kom etter dette aldri ned på samme nivå som før første håndtering. Begge grupper har innslag av sår som dødelighetsårsak på vinteren. Dødeligheten i perioden med høyest tetthet skiller seg ikke negativt ut sammenlignet med perioden før eller etter, eller tilsvarende perioden i kontrollmerden.

Gjelle- og hjertehelse er overvåket regelmessig, og ved 2 av de 6 undersøkelsene som ble utført i programmet var det signifikant lavere gjellescore i AQT4 enn i kontrollmerd, noe som indikerer en bedre gjellehelse i AQT4 ved disse tidspunktene. Det var en gjennomgående trend med lavere score for AQT4 enn kontrollmerd, men for de 4 resterende tidspunktene var ikke forskjellen signifikant. Makroskopisk hjertescore viste små forskjeller gjennom programmet fram til siste undersøkelse, der det var signifikant bedre score i AQT4 enn kontrollmerd. For histologisk vurdering var det en tydelig trend med høyere hjertescore for AQT4, og på ett av undersøkelsestidspunktene var denne forskjellen signifikant. Årsaken til ulike score for gjeller og hjerte er usikker.

Helsekontroller har gitt et helhetlig godt inntrykk av utsettet, med noen utfordringer knyttet til hjertehelse, sår og gjellehelse. Antall avlusinger har variert mellom de ulike merdsystemene, og AQT4 har hatt færrest avlusinger. Det er benyttet flytefôr på Aquatrazmerden, mens de andre merdene har fått konvensjonelt fôr.

– **Lakselus:**

AQT 4 har hatt to avlusinger mens kontrollmerden har hatt fire avlusinger. Selv om det ble fjernet dyp skjerming fra to notvindu i AQT4 i store deler av produksjonsperioden er forskjellen mellom merdene tydelig, og det er grunn til å tro at den økede dybden på skjermingen i AQT4 har gitt god effekt. Det har vært en del usikkerhet om det blir raskere utvikling av lakselus når det først kommer kjønnsmodne lus inn i Aquatrazmerden. Resultatene fra dette programmet gir ingen indikasjoner på dette, tvert imot kan det se ut som en behandling i Aquatrazmerden har lengre varighet enn i konvensjonelle merder. Dette kan tyde på at egg og larver blir fjernet fra merden før de blir infektive på grunn av vannsirkulasjonen. Det er grunn til å tro at en lokalitet bestående av bare Aquatrazmerder kan gi en svært gunstig utvikling av lakselus.

– **Adferd:**

Adferd er fulgt opp ved hjelp av akustisk telemetri. Flere av fiskene som ble merket i AQT4 døde en tid etter merking, og datafangsten er derfor noe begrenset. Årsaken til dette er uklar, men det ble ved obduksjon gjort funn forenlig med sårinfeksjon og sepsis. I likhet med tidligere program i Aquatrazprosjektet ser man også denne gangen betydelig individuell variasjon i dybdebruk og horisontal fordeling. Forflytningsdistanser var større om dagen i normal føringstid enn på andre deler av døgnet i begge merdsystemer, men endringen på morgenen var bråere i kontrollmerden enn i AQT4.

– **Vannstrøm og vannkvalitet:**

Gjennom produksjonen i AQT4 ble det sett store døgnavariasjoner i både sirkulær vannstrømhastighet og oksygenmetning. Logging av oksygenmetning og temperatur har vist større variasjon mellom tilstrømmende vann og i senter av Aquatraz på om lag 20 m dyp enn forventet. Det tyder på at laksens svømmeaktivitet påvirker vannstrøm og vannutskifting betydelig, og at resirkulering av brukt vann har vært større enn beregnet ved CFD-analyser. Disse effektene kan ikke neglisjeres i design av semilukkede merdsystemer. Hvordan designe et driftssikkert vannutskiftingssystem, som gir god vannkvalitet i merden med dype luseskjørt og varierende kvalitet på innstrømmende vann, er hovedutfordringen som gjenstår å løse i prosjektet.

Hydrografiske profiler er utført på 11 ulike stasjoner i tilstrømmende vann, AQT4 og kontrollmerd gjennomgående i programmets varighet. Salinitet og temperatur i AQT4 er stabile i vannsøylen og indikerer inntak av vann fra 20-25 m dyp, mens kontrollmerden har større variasjoner i vannsøylen gjennom store deler av den undersøkte perioden. Oksygenmetningen er gjennomgående noe lavere i AQT4 enn i kontrollmerden.

Sensordata for oksygen og temperatur viser også lavere oksygenmetning i AQT4 enn i kontrollmerden og tilstrømmende vann. Oksygenmetningen i perioden med høyest tetthet i AQT4 viste ingen tydelige dropp eller økt variasjon. Det var ingen store forskjeller i gjennomsnittstemperatur mellom tilstrømmende vann, AQT4 og kontrollmerden, og temperaturen var gjennomgående noe mer stabil i AQT4.

Labanalyser for vannkjemiske parametere viste god vannkvalitet med lave nivåer av fritt CO₂ og total ammonium nitrogen gjennom hele analyseperioden i både AQT4 og kontrollmerden. Det var ingen tendens til økt CO₂-konsentrasjon i takt med økt biomasse. Samlet sett så er det ingen indikasjoner på akkumulering av metabolitter eller partikler i AQT4.

Lakseluslarver fra planktontrekk ble observert, men det var generelt svært få i dette programmet.

Ingen bekymringsverdige mengder av kjente fisketoksiske algearter ble observert i perioden. Det var muligens en tendens til mindre alger i AQT4 sammenlignet med kontrollmerd i juli 2020, men ellers var antallet alger og algesammensetning relativt lik mellom alle prøvetakingsstasjonene i perioden.

– **Produktkvalitet:**

Fisken i AQT4 vokste saktere enn i kontrollmerden, dette ga noen utfordring ved sammenligning av produktkvaliteten, det ble gjort noen korreksjoner for dette. Fisken i AQT4 hadde høyere kondisjonsfaktor på siste uttak, og filetutbyttet var høyere på fisken fra AQT4 på de tre siste uttakene. Fettakkumulering på hjerte ble også undersøkt, her tenderte fisken i AQT4 til å ha lavest nivå. Filetfargen var gjennomgående høyere i AQT4 gjennom hele programmet, også ved oppstart, uten at det er funnet forskjeller som kan forklare dette. Fettinnholdet i muskelen var generelt lignende for de to gruppene. Fisken i AQT4 hadde generelt lavere nivå av filetspalting. For fasthet i filet var bildet noe motsatt, der filetene til AQT-fisken hadde signifikant lavere bruddstyrke sammenlignet med KTR-fisken i januar og mars, men signifikant fastere muskel ved siste uttak, spesielt ved måling i den tykkeste delen av fileten.

Slaktedata viste små forskjeller mellom gruppene, og for begge gruppene er det en ikke ubetydelig andel nedklassing. Hovedårsaken til nedklassingen er sår, og det er stor likhet mellom gruppene også med hensyn til nedklassingsårsaker.

2. Innledning

2.1. Prosjektet og rapportoppbyggingen

Aquatraz (AQT) er en semilukket stålmerd hvor Seafarming Systems har utviklet og eier konseptet, mens Midt-Norsk Havbruk er tildelt fire utviklingstillatelser for sammen med Seafarming Systems å utvikle og teste ut teknologien. I Aquatrazprosjektet er det planlagt fire ulike merdgenerasjoner, der hver ny generasjon forbedres basert på erfaringer fra foregående generasjoner.

I tråd med målkriterie 8.1 i tilsagnsbrevet fra Fiskeridirektoratet, skal produksjonen dokumenteres i henhold til avtalt måleprogram. Dette måleprogrammet er regulert i målkriterie 7.1. i tilsagnsbrevet. Denne rapporten svarer på måleprogrammet «Aquatraz: Program for å dokumentere biologiske resultater i driftsfasen – merdgenerasjon 3 på Årsetfjorden» med siste revisjon 16.06.2020 (Dokument nr.: AQT-MNH-BIO-005).

Det er satt opp noen suksesskriterier for hele Aquatrazprosjektet, som kan ses i sammenheng med søknaden om utviklingstillatelser. Disse kan oppsummeres slik:

- Bedre fiskehelse og fiskevelferd:
 - Bedre hjertehelse og kondisjon
 - Bedre gjellehelse
 - Ikke behov for avlusing
 - Lavere stressnivå og skaderisiko ved trenging
 - Bedre velferd og lavere dødelighet
- Bedre produktkvalitet
- Rømningsikker teknologi
- Forbedret HMS
- Høyere effektivitet/ økonomisk foretrukket teknologi

Disse kriteriene danner grunnlaget for hvordan biologiprogrammet er bygd opp, og hensikten er todelt: Dokumentasjon av resultatene, samt å kunne gi et grunnlag for videre utvikling av Aquatrazmerden. I biologiprogrammet er det jobbet med dokumentasjon knyttet til fiskehelse, fiskevelferd og produktkvalitet, samt effektivitet i produksjonen. De andre punktene dekkes av den tekniske delen av det samlede Aquatrazprosjektet, og er ikke beskrevet i biologiprogrammet.

Midt-Norsk Havbruk søkte og fikk dispensasjon fra Fiskeridirektoratet (17/11183, datert 14.05.2019 og 27.08.2020) og Mattilsynet (2019/113262, datert 31.05.2019 og 2021/005635 datert 25.02.2021) til å gjennomføre én syklus i hver av de fire første Aquatrazmerdene med maksimalt 400 000 fisk i hver enhet, og tetthet opp til maksimalt 45 kg/m³. Dispensasjonene er gitt under forutsetning av at et program for dokumentasjon av resultater blir fulgt opp.

Denne rapporten dekker både biologiprogrammet og tetthetsprogrammet, og er disponert etter tema.

2.2. Biologiprogrammet og produksjonen på lokaliteten

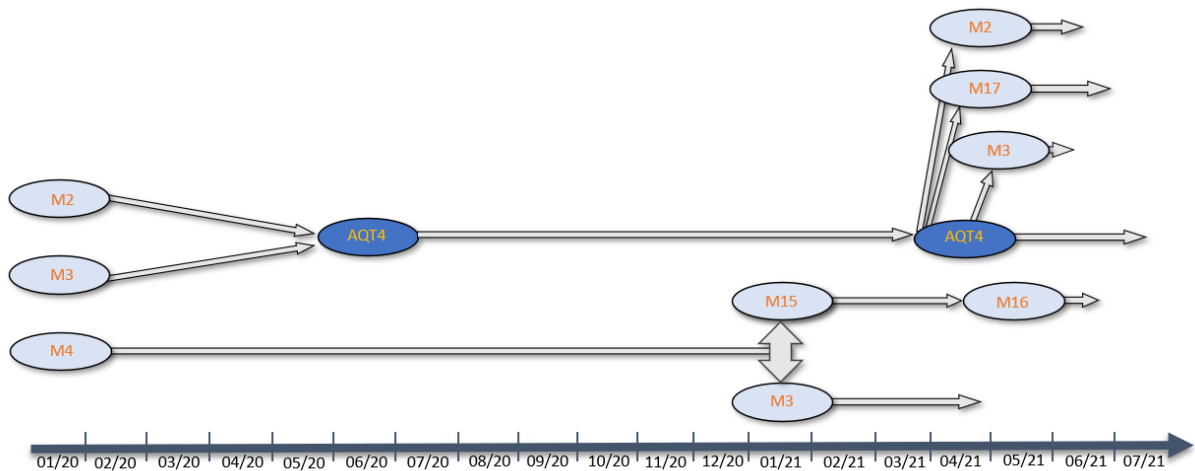
Programmet som har pågått i Årsetfjorden er et case-studie, og (figur 2.1) startet 25.06.2020 da det ble flyttet inn fisk på ca. 0,8 kg snittvekt fra konvensjonelle merder til merd AQT4 (312.001 stk.), mens fisken i en kontrollmerd (161.027 stk.) ble stående i sin opprinnelige merd på lokaliteten. Fisken har opprinnelse i samme smoltanlegg, og var satt ut på samme tidspunkt og ellers med så lik historikk som praktisk mulig. En oversikt over flyttinger og splittings er gitt i figur 2.2. Driftsmessige valg påvirker en slik case-studie, og splittings og flyttinger gir både muligheter og begrensninger i tolkninger av resultater, dette framkommer flere steder i rapporten.



Figur 2.1: Plassering av lokaliteten Årsetfjorden (rød prikk), visning basert på Fiskeridirektoratets kartverktøy.

AQT4 har 8 meter stålskjørt og hadde fra starten av også en ekstra skjerming med presenning slik at den var tett ned til 18 meters dyp, som nærmere beskrevet under. Kontrollmerden var en konvensjonell 135-metring der det var brukt 8 meter presenningskjørt. I uke 42/2020 ble skjørtet på kontrollmerden og de andre konvensjonelle merdene på lokaliteten fjernet, samt to av presenningskjermingen på notvinduene på AQT4 (se under). Årsaken til dette var lav oksygenmetning i merdene og i fjordsystemet.

Det er ikke benyttet rensefisk i AQT4 eller kontrollmerden.

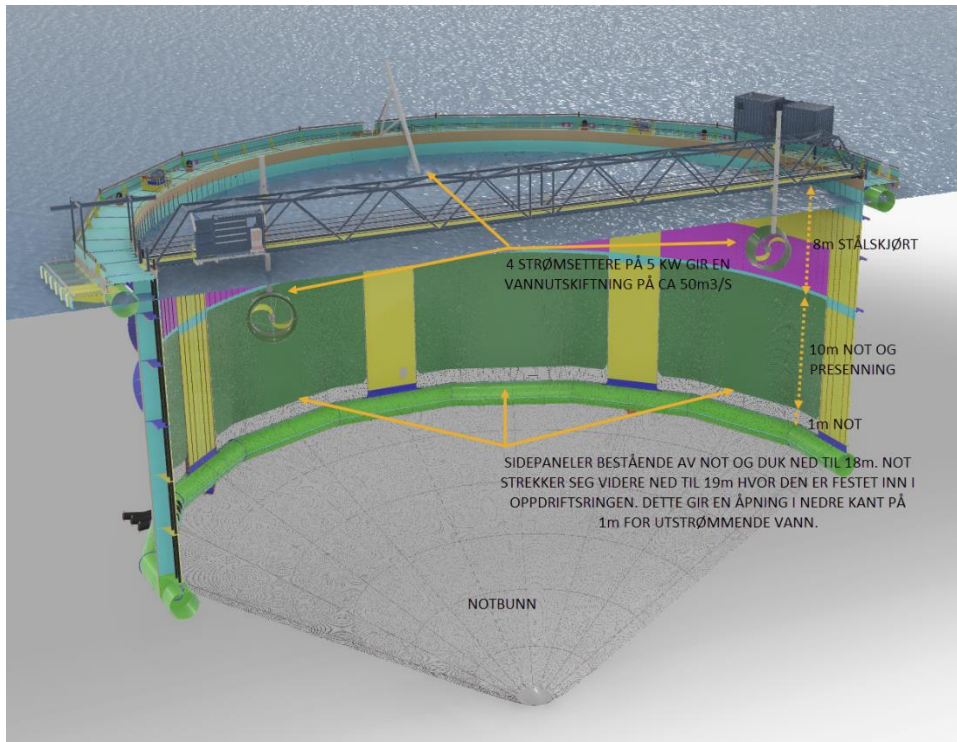


Figur 2.2: Oversikt over produksjon i Årsetfjorden som er relevant for biologiprogram 3 i Aquatrazprosjektet. All fisken i M2 og M3 ble flyttet til AQT4 i forbindelse med oppstart av biologiprogrammet. Som kontrollmerd ble M4 fulgt fram til splitting i januar 2021, etter dette ble hovedsakelig M3 fulgt opp som kontrollmerd. Produksjonsresultater er likevel hentet fra alle merder som det er splittet til.

Ved slakt ble det registrert et betydelig vektavvik, der fisken i både AQT4 og KTR (M3) hadde vesentlig lavere vekt enn produksjonsstyringssystemet tilsa. Dette gir en usikkerhet i tolkningen av flere av resultatene, og det er også usikkert om man noen gang var over 25 kg/m³.

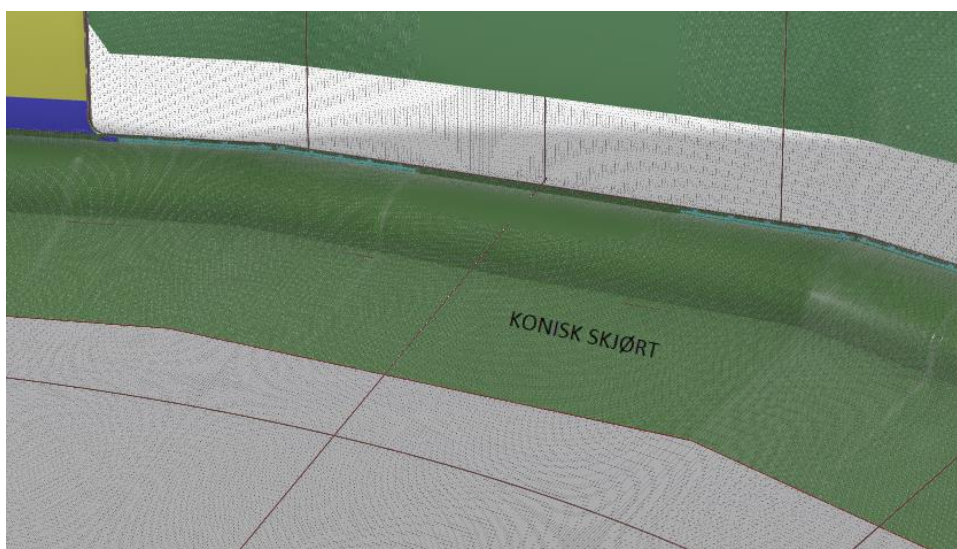
2.3. Teknisk beskrivelse av Aquatraz generasjon 3

Aquatraz generasjon 3 (G3) har de samme ytre målene som tidligere generasjoner, men for å bedre lusebeskyttelsen er skjørtdybden økt fra 8 til 18 meter. Dette medfører at notåpningene i sidene hvor vannet strømmer ut av merden reduseres fra 11 til 1 meter (figur 2.3).



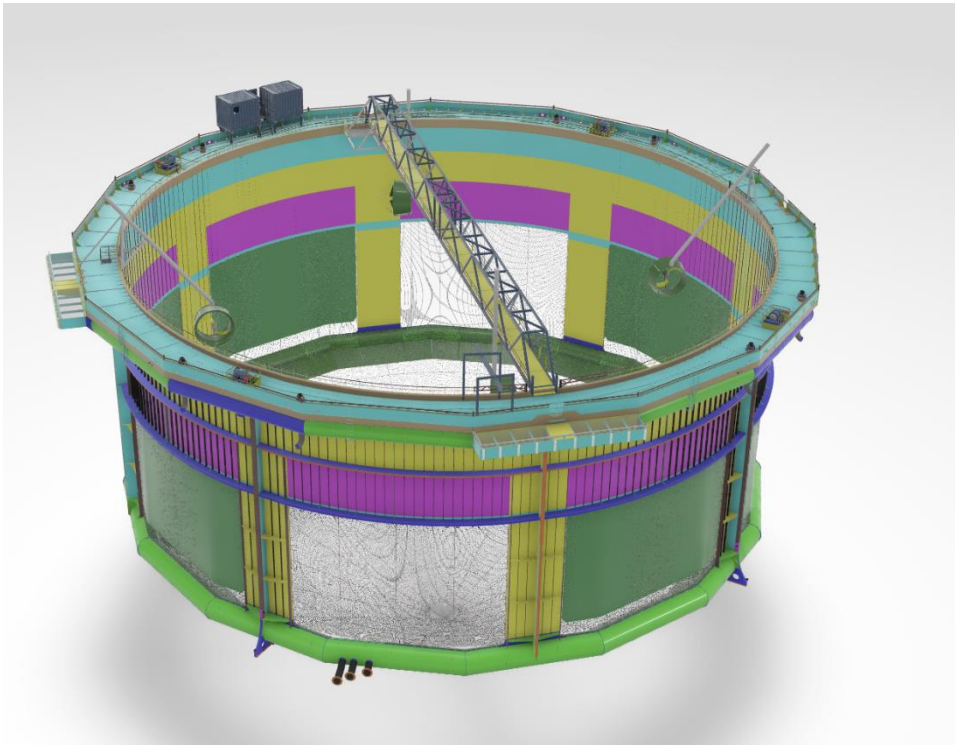
Figur 2.3: Skjerming og sentrale elementer for vannutskiftingen på Aquatraz G3.

Med 11 meters åpning i sidene ble det som følge av eksternt strøm byttet ut store mengder vann i merdvolumet på de foregående generasjonene, mens den reduserte åpningen i G3 gjør merden helt avhengig av at vannutskiftingssystemet fungerer optimalt. Da merden ble satt i drift var den i tillegg til skjørtene i siden utrustet med et konisk skjørt i bunnen som strakk seg 3 meter inn i merden (figur 2.4). Dette skjørtet skulle sikre at utløpsvannet ble skjøvet ut gjennom sidevinduene og dermed minimere graden av resirkulering.



Figur 2.4: Konisk skjørt på nota i bunnen av Aquatraz generasjon 3.

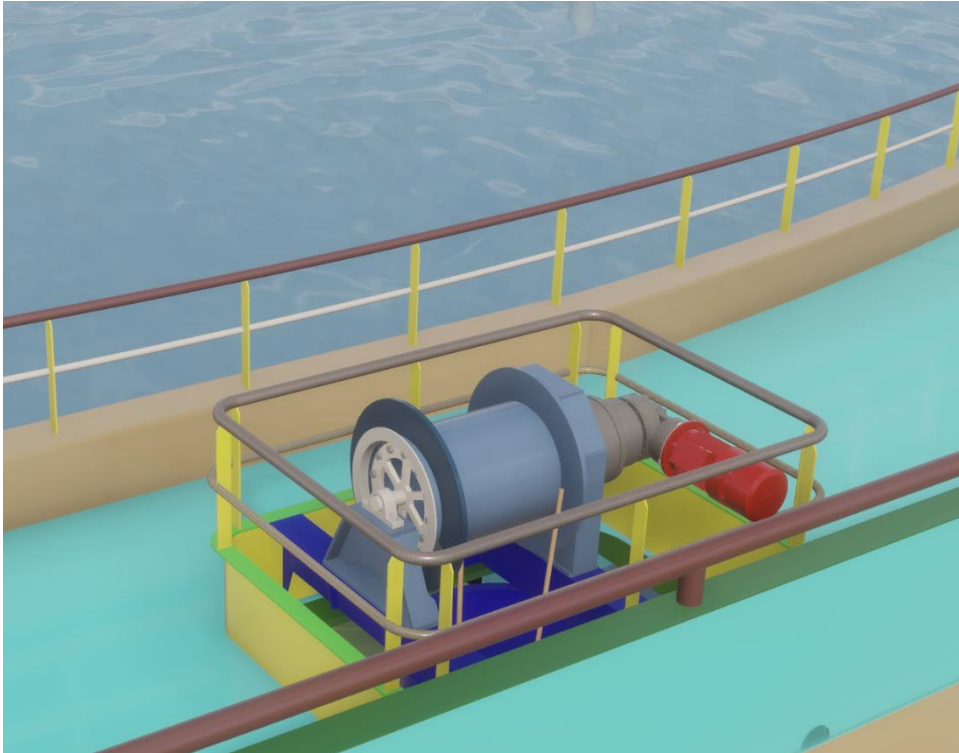
I uke 42/2020 ble det etter lengre tid med lav oksygenmetning i merda besluttet å ta bort de to skjørtene som i størst grad ikke pekte mot de to dominerende strømrøtningene, og skjørt på sørlig og nordlig side ble fjernet (figur 2.5).



Figur 2.5: Aquatraz generasjon 3 med skjørt fjernet fra to notvinduer.

Oksygenverdiene ble i liten grad forbedret, men merden ble mer utsatt for å ta inn grunnere vann med mer lus gjennom sidevinduene hvor presenningen var tatt bort. Da det fortsatt var for dårlige oksygenforhold, ble også den koniske bunnleppa fjernet og oksygenverdiene ble noe forbedret. Mot slutten av programmet ble de to skjørtene som først ble tatt av montert tilbake. Dette ble gjort for å bedre lusebeskyttelsen samt for å avklare i fullskala om vannutskiftningen ble dårligere. Basert på oksygenverdiene i merda er det ingenting som tilsier at gjennomstrømningen ble svekket som følge av dette og det er sannsynlig at den reduserte vanngjennomstrømningen skyldtes det koniske skjørtet i bunnen. Helt mot slutten av produksjonen ble merden også utrustet med 4 ekstra strømsettere slik at det var montert en strømsetter på 5 kW for hver 45. grad. Det ble kort tid til å teste denne konfigurasjonen, men det ble ikke funnet en klar sammenheng mellom antallet strømsettere og vannutskiftning. Derimot var det en tilnærmet lineær sammenheng mellom rotasjonshastighet og utbredelse av andelen vann i merda som roterte.

I tillegg til økt skjørtdybde er løftesystemet forbedret ved at vinsjene er lokalisert på gangbanen (figur 2.6). Dette gir bedre tilkomst til vinsjene samtidig som kabelføringene forenkles.



Figur 2.6: Vinsj plassert på gangbanen.

3. Forkortelser og definisjoner

AG	Aquatraz merdgenerasjon
ALT	Alanin aminotransferase
AQT	Aquatraz. Brukes for å navnsette merd etter leveringsnummer, eks. AQT1.
AST	Aspartat aminotransferase
bFF	Biologisk fôrfaktor
BP	Biologiprogram. Følger første merd av hver merdgenerasjon i Aquatrazprosjektet.
CFD	Computational Fluid Dynamics
CK	Kreatin kinase
CMS	Cardiomyopathy syndrome, kardiomyopatisyndrom
CO ₂	Karbondioksid
CTDO	Måleinstrument for konduktivitet, salinitet, dybde og oksygen
HE	Hematoksylin-eosin. Fargemetode for vevssnitt
HSI	Hepatosomatic index, forholdet mellom levervekt og kroppsvekt
K-faktor	Kondisjonsfaktor, beregnes med Fultons formel
KF	K-faktor
KTR	Kontrollmerd i Aquatraz biologiprogram
M	Merd. Brukes for å navnsette konvensjonelle merder, eks. M5.
NH ₃ -N	Ammoniakk
NKS	Norsk kvalitetssnitt, synonymt med NQC (Norwegian quality cut)
O ₂	Oksygen
OVI	Operativ velferdsindikator
PRV	Piscine orthoreovirus
RT-PCR	Real Time - Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction, metode for å påvise amplifisere og påvise små mengder arvestoff
TAN	Total ammonium nitrogen
TGC	Thermal Growth Coefficient, synonymt med VF3
TOC	Totalt organisk karbon
TSS	Totalt suspendert stoff
VF3	Vekstfaktor 3
øFF	Økonomisk fôrfaktor

4. Produksjonsresultater

4.1. Produksjonseffektivitet – analyse av sentrale produksjonsparametere

Av: Gunnar Aunsmo Cand Ag, MKL CBS, Norsk Landbruksrådgiving
Arnfinn Aunsmo DVM PhD, Barkbekken

4.1.1. Formål og bakgrunn

I dagens laksenæring er produksjonskostnad (prodkost) samt resultat (overskudd) svært nært knyttet til «biologiske prestasjoner» eller utnytting av det biologisk potensiale til laksen i merdene. Nye teknologier er gjerne mer kostbare, og for at de skal bli kostnadseffektive og mer miljøvennlige enn tradisjonell teknologi er det nærmest en forutsetning at teknologien har potensiale til forbedring av de biologiske prestasjonene. Ny teknologi er sjelden optimal ved første forsøk slik at kontinuerlig videreutvikling og optimalisering er nødvendig for å ta ut teknologiens potensiale. I en slik utviklings- og optimaliseringssammenheng er det avgjørende å vite hva som gir mest effekt, og til en lavest mulig kostnad. Det vil si at ressurser bør brukes der de gir mest tilbake i form av både biologisk og økonomisk resultat.

Resultat er avhengig av de driftskostnadene som er nødvendig for optimal biologiske produksjon. Det har vært en betydelig kostnadsøkning i norsk oppdrettsnæring de siste 10 år. Et potensiale med utvikling av ny teknologi er muligheten til reduserte driftskostnader, det vil ha en betydning for totalresultatet. Lakseproduksjon er en volumproduksjon hvor høy produksjon gir flere kg å fordele kostnader over – stordriftsfordeler.

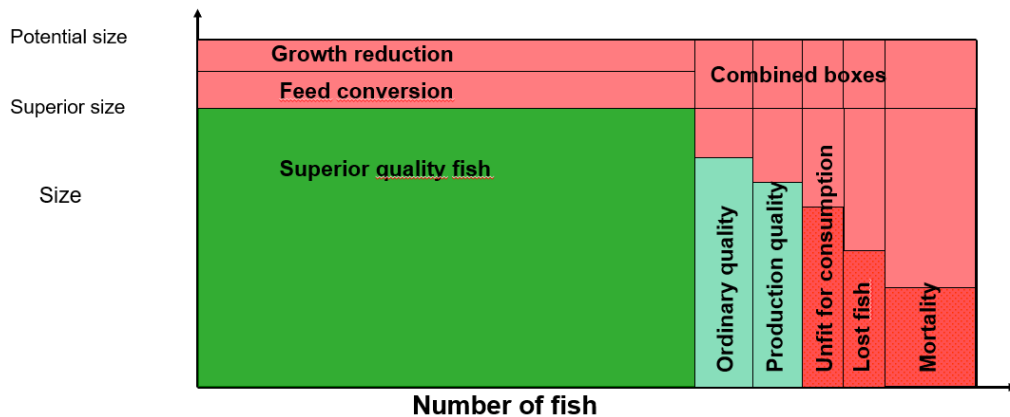
Produksjonen i biologiprogram3 (BP3) på lokalitet i Årsetfjorden 2020 - 2021 er analysert med en videreutviklet metodikk av det som ble brukt til analyser i BP2. Tredjegerasjon Aquatraz (AQT4) er sammenlignet med ei konvensjonell merd (KTR) for å se på både biologisk og økonomisk effektivitet.

Mål:

- Sammenligne kostnader og produksjonseffektivitet i AQT4 og konvensjonell teknologi
- Vise effekt av forskjeller i kostnader og sentrale produksjonsparametere på produksjonskostnad og marginer i AQT4 vs. konvensjonell teknologi

4.1.2. Biologisk modell

Utnyttelse av potensiale i biologiske produksjoner kan sammenlignes i «The Biologic Production- Loss Model (bPLM) hvor de ulike elementene i en biologisk produksjon kvantifiseres og vurderes, dette både i en biologisk og økonomisk sammenheng (A. Aunsmo 2009), se figur 4.1. Kombinerte effekter hvor en f.eks. endrer både tilvekst og dødelighet gir effekt i «Combined boxes», denne effekten beregnes i modellen.



Figur 4.1: «The Biologic Production-Loss Model» (bPLM) som kan kvantifisere produsert biomasse, kvalitet og utnyttelse av et biologisk potensial i en fiskeproduksjon (A. Aunsmo 2009).

4.1.3. Økonomisk modell

Det er laget en «full modell» for evaluering av både økonomi og biologisk produksjon i AQT4 og kontrollmerd 3 (KTR) (A. Aunsmo 2010). Modellen simulerer både kostnadene og de spesifikke produksjonsmessige fordelene og ulempene ved bruk av Aquatraz sammenlignet med konvensjonell merdteknologi. Det vil si at forskjeller i biologi kan simuleres slik at man kan vise økonomisk effektivitet. Ettersom AQT4 har kapasitet til større biologisk produksjon enn kontrollmerden (KTR) er det ikke relevant å sammenligne et totalresultat. Effekter per kg solgt laks (sløyd) er sammenlignbare størrelser og modellen beskriver effekten av forskjellen mellom de to merdene for prodkost (Δ prodkost), oppnådd pris (Δ laksepris) og samlet for resultat (Δ margin). Alle effekter (Δ -verdier) er oppgitt i kr per kg sløyd fisk der forskjellen er beregnet ved at verdien for KTR er trukket fra verdien for AQT4.

Både biologiske effekter og endringer i kostnader (utgifter) summeres opp slik at en kan vurdere om investeringer gir en positiv eller negativ økonomisk verdi etter formelen:

$$\text{Nytte} = \text{ØI} + \text{RK} - \text{ØK} - \text{RI}$$

ØI = Økte inntekter i form av økt salgsvolum samt økt kvalitet og kilopris for fisken

RK = Reduserte kostnader i form av færre avlusinger, økt fôrutnyttelse etc.

ØK = Økte kostnader ved investering og drift av Aquatraz

RI = Reduserte inntekter ved redusert miljø og evt. negative effekter på produksjon

Ved endring av biologiske variabler i en modell (vekt, dødelighet og utkast) vil hele produksjonen endre seg slik at en ikke får eksakte sammenlignbare modeller (ulik produksjon). Faste kostnader fordeles på biologisk produksjon, slik at merden med størst biologisk produksjon har stordriftsfordeler. Endringer i disse biologiske variablene gir derfor ikke en totalsum av effekter tilsvarende forskjeller i analyse av bare utgifter hvor produsert volum er den samme.

4.1.4. Materiale og metoder

Analysen er lagt opp som en case-studie av den biologiske produksjonen i AQT4 og kontrollmerden, analyseperspektivet er en kost-nyttebetraktning hvor vi analyserer kostnaden og nytten som differanse i biologisk produksjon samt kostnad til drift og investering mellom disse merdene. Det er hentet inn produksjon- og økonomidata fra Midt-Norsk Havbruk sine produksjonsstyrings- og økonomiverktøy til modellen. Studien har bare ett ledd i hver case samt at beregningsmodeller er avhengige av kvaliteten på data for å kunne gi sikre vurderinger på effekt av teknolog. Resultatet må

også sees i sammenheng med at casestudien er påvirket av driftsmessige valg gjort av Midt- Norsk Havbruk.

Smålaks ble flyttet inn i enhetene ved ca. 0.77 kg vekt og pris 64.44 kr/ kg rundvekt. I begge gruppene KTR og AQT4 er det negativt avvik når en ser på antall innsatt fisk fratrukt antall døde og antall slaktet fisk, dette avviket er korrigert med økt antall innsatt fisk. I forsøket ble det flyttet ut fisk fra KTR merden den 5/1-2021. Den biologiske produksjonen på fisken som ble flyttet ut inngår i biologisk produksjon i KTR, med antall, snittvekt fra MNH sine produksjonsdata. Fra 19/4-2021 til 29/4-2021 ble fisk flyttet ut fra AQT4 merden til 3 nye merder. Den biologiske produksjonen på fisken inntil tidspunkt den ble flyttet ut inngår i biologisk produksjon i AQT4, med antall og snittvekt fra MNH sine produksjonsdata korrigert for antall og vekt ved slakting om lag 2 mnd. etter utflytting. Dødelighet med antall og dato er registret, snittvekt i merden på dato er benyttet for å beregne biomassen av død fisk. Dødelighetsprosent er beregnet med antall døde fisk i den perioden de sto i AQT4 merden (inngår biologisk produksjon AQT4) dividert på innsatt fisk i merden. Slakteklassifisering på utflyttet fisk er forholdsmessig fordelt tilsvarende slaktedata. Kostnader er til en viss grad splittet til de enkelte enhetene, men det er ikke gjort en full splitt på alle områder. Det er heller ikke logget timer eller bruk av andre ressurser i detalj slik at ressursfordeling mellom enheter på lokaliteten er på et overordnet nivå.

Det er brukt laksepris fra 2019 i modellen (Nasdaq Salmon Index) og modellen er kalibrert og sammenlignet med produksjonskostnader for Trøndelag i 2019. 2020 var et spesielt år for laksepris mhp. korona og det er ikke kommet statistikk for produksjonskostnader så langt for 2020, 2019 er derfor brukt som referanseår.

Analysen er basert på én produksjon med to merder (BP3) slik at det statistiske grunnlaget for vurdering av hvorvidt forskjeller er tilfeldige eller kan begrunnes i teknologien er begrenset. Modellen er kalibrert til å gi en prodkost på 38.78 kr per kg sløyd pakket i kasse for KTR, dette er et gjennomsnittsnitt for Trøndelag i 2019 (Fiskeridirektoratet 2020). Pris på fôr, forsikring fisk og slaktekostnader er også hentet fra et gjennomsnitt for Norge og Trøndelag i 2019 (Fiskeridirektoratet 2020). Årlige kostnader ved ny teknologi er basert på en estimert investeringskostnad på en serieprodusert enhet med NOK 50 mill. avskrevet over 15 år med en rente på 3.15 % og null i restverdi. Det er brukt en laksepris fra 2019 (Nasdaq Salmon Index) i analysen. Effekt av størrelse av fisk på pris er inkludert hvor et snitt for hele 2019 er brukt for å justere pris vs. størrelse. Pris er redusert med er NOK 10.00 per kg for fisk nedklasset til ProduksjonA (ProdA). Levende vekt er konvertert til sløyd vekt med bruk av en faktor på 0,86.

Tabell 4.1: Følgende investering- og forsikringskostnader anlegg er lagt til grunn i analysen.

Avskrivninger	AQT4	KTR	Δ verdi
Kost	50 000 000	1 000 000	
Avskrivning per år ⁽¹⁾	3 333 333	200 000	3 133 333
Rente per år	787 500	15 750	771 750
Forsikring	300 000		300 000
Sum årlig kostnad	4 420 833	215 750	4 205 083

⁽¹⁾ Som avskrivningstid er det benyttet 15 år på AQT4 og 5 år på KTR merden uten restverdi på begge merdtypene og rente er satt til 3,15 %.

Tabell 4.2: Oversikt over hovedtall for produksjon i AQT4 og KTR.

Produksjon BP3	AQT4	KTR	Forskjell
Antall fisk utsatt	320 494	167 754	152 740
Vekt utsatt fisk kg	0,77	0,78	-0,01
Vekt rund slakt/flytting, kg	4,94	4,12	0,82
Biologisk produksjon sløyd kg	1 261 322	564 271	697 012
Maks tetthet kg/ m3 ⁽¹⁾	26,60	19,40	7,2
Prodkost ⁽²⁾	36,96	38,78*	-1,82

⁽¹⁾ Maks tetthet er beregnet ut fra snittvekt som fremkommer i Fishtalk, i slaktedata ca. 2 mnd. senere er det et relativt stort negativt avvik i snittvekt mellom data i Fishtalk og slaktedata. Det tilsier at tetthet sannsynligvis er lavere enn angitte verdier i tabell. Se nærmere diskusjon kapittel 4.2.

⁽²⁾ Prodkost i kontrollmerden er kalibrert til NOK 38,78, dette er gjennomsnittlig prodkost i Trøndelag i 2019 (FiDir).

4.1.5. Resultater

Forskjeller i total produksjon er vist i tabell 4.3, kostnader per kg i hovedgrupper i tabell 4.4, oppdeling av andre driftskostnader i tabell 4.5, effekt av investeringskostnader er vist i tabell 4.6, effekt av biologiske produksjonsparametere er vist i tabell 4.7.

Tabell 4.3: Hovedtall over produksjon i AQT4 og konvensjonell merd (KTR) på i Årsetfjorden 2020-2021.

Variabler	AQT4	KTR	Δ effekt
Kjøpt volum rund (smålaks) kg	247 421	131 016	116 405
Biologisk produksjon rund kg	1 466 653	656 129	810 524
Biologisk produksjon sløyd kg	1 261 322	564 271	697 051
Salgsinntekter NOK 1000	71 678	31 278	40 399
Kostnader NOK 1000	46 620	21 880	24 740
Resultat NOK 1000	25 057	9 398	15 660
Prodkost kr/ kg	36,96	38,78 ⁽¹⁾	-1,82
Pris kr/ kg	56,83	55,43	1,40
Margin kr/ kg	19,87	16,65	3,21

⁽¹⁾ Prodkost i kontrollmerden er kalibrert til NOK 38,78, dette er gjennomsnittlig prodkost i Trøndelag i 2019 (FiDir). AQT4 er kalibrert med samme totalsum.

Tabell 4.4: Produksjonskostnad per kg sløyd laks brutt ned per kost-gruppe for AQT4 og KTR tilsvarende statistikk fra Fiskeridirektoratet. Smolt/ smålaks flyttes inn ved høyere vekt enn snitt i Trøndelag.

Prodkost BP3	AQT4	KTR	Forskjell	Trøndelag 2019
Smoltkostnad pr. kg	12,64	14,96	-2,32	4,26
Fôrkostnad pr. kg	13,93	13,18	0,76	17,84
Forsikringskostnad pr. kg	0,45	0,21 ⁽¹⁾	0,24	0,21 ⁽¹⁾
Lønnskostnad pr. kg	0,79	1,77	-0,98	3,30
Avskrivninger pr. kg	2,64	0,35	2,29	2,20
Andre driftskostnader pr. kg ⁽²⁾	1,62	4,02	-2,39	7,06
Netto finanskostnader pr. kg	0,62	0,03	0,60	-0,35
Slaktekostnad inkl. fraktkostnad pr. kg	4,26 ⁽¹⁾	4,26 ⁽¹⁾	0,00	4,26 ⁽¹⁾
Sum kostnad pr. kg	36,96	38,78	-1,82	38,78

⁽¹⁾ Kostnader som er brukt direkte fra Fiskeridirektoratets statistikk.

⁽²⁾ Andre driftskostnader er spesifisert i tabell 4.5.

Tabell 4.5: Oppdeling av andre driftskostnader mellom AQT4 og KTR.

Andre driftskostnader	AQT4	KTR	Δ prodkost
Lus forebygging kr/kg	0	0,71	-0,71
Lus behandling kr/kg	0,32	1,77	-1,46
Rest andre driftskostnader kr/ kg	1,31	1,54	-0,23
Sum driftskostnader	1,62	4,02	-2,39

Tabell 4.6: Estimerte investering-, rente- og forsikringskostnader med ny teknologi i AQT4. Beregninger er per år, produksjonen skjedde over 10-11 måneder.

Investeringer - effekter	AQT4	KTR	Δ prodkost
Avskrivninger per kg	2,64	0,35	2,29
Renter per kg	0,62	0,03	0,60
Forsikring anlegg per kg	0,24	-	0,24
Sum investeringer per kg	3,50	0,38	3,12

Tabell 4.7: Forskjeller i sentrale biologiske produksjonsparametere og effekter på prodkost, pris og margin. Effekt på prodkost og pris er modellert ved å bruke biologisk effekt fra KTR i produksjonsmodellen for AQT4 (én for én).

Biologi - effekter	AQT4	KTR	Forskjell	Δ prodkost	Δ pris	Δ margin
Vekt rund kg ⁽¹⁾	4,94	4,12	0,82	3,35	-1,11	-4,46
Dødelighet %	6,72 %	4,53 %	2,19 %	-0,70	0,00	0,70
Dødfiskvekt kg	3,81	3,46	0,36	-0,50	0,00	0,50
bFCR	1,21	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00
ProdA % biomasse	13,14 %	15,96 %	-2,82 %	0,00	-0,28	-0,28
Utkast % biomasse	0,65 %	0,49 %	0,16 %	-0,05	0,00	0,05
Sum effekter biologi				2,10	-1,39	-3,49

⁽¹⁾ Oppnådd vekt ved slakt for produsert volum, og oppnådd vekt ved salg for effekt på pris.

Ved simulering av disse variablene endres total produksjon (kg) i AQT4 med effekt på alle fordelte kostnader (faste). Videre vil «combined boxes» i bPLM endre et helhetsresultat når alle variabler endres vs. en for en.

4.1.6. Nåverdiberegning av differanse mellom AQT4 og KTR

Med en nåverdi beregning med 3,15 % rente, 15 års levetid og null i restverdi kan 7,69 mill i årlig forbedret resultat ved benyttet kapasitet (tabell 4.8) forsvare en økt investeringskostnad på 90,9 mill kroner i forhold til tradisjonell teknologi.

Tabell 4.8: Nåverdiberegning av differanse mellom AQT4 og KTR.

Parameter	Beregnet effekt
Δ margin	3,21 kr/kg
+Δ avskrivning	2,29 kr/kg
+Δ rentekostnad	0,60 kr/kg
=Δ margin før kapital kostnad	6,10 kr/kg
*Benyttet kapasitet biomasse AQT4	1.261.283 kg
Δ margin før kapital kostnad, AQT4	7,69 mill kroner

4.1.7. Diskusjon

Produksjons- og økonomimodellen for å analysere sammenhenger mellom biologiske og økonomiske prestasjoner er videreutviklet for BP3, inkludert modellering av pris. I AQT4 er det betydelige forskjeller fra konvensjonell teknologi på mange områder og med betydelige effekter på prodkost, pris og marginer.

Kontrollmerden er kalibrert til å gi en prodkost lik gjennomsnittet for Trøndelag for 2019 med NOK 38.78 per kg. Med den samme «kalibreringen» for AQT4 (samme kronebeløp) gir det en prodkost på 36,96, altså en lavere prodkost med NOK -1.82 per kg. Kontrollmerden har en modellert snittpris på 55.43 (lav slaktevekt), mens AQT4 har en snittpris på 56.83 (+NOK 1.40), hvor høyere slaktevekt i AQT4 øker pris vesentlig, mens noe redusert kvalitet reduserer pris noe.

Investeringer med tilhørende avskrivninger, renter og forsikring er naturlig nok høyere for AQT4 og gir samlet en økt prodkost på NOK 3.12. I og med at tetthet er økt i AQT4 er investeringskost per kg solgt laks redusert noe vs. BP1. Dersom tetthet kan økes videre vil investeringskost per kg reduseres ytterligere.

De biologiske forskjellene er betydelige og er både positive og negative for AQT4. Enkelte av de biologiske forskjellene er trolig tilfeldige, og kan ikke relateres til teknologien. Modellert effekt av biologi er NOK -2.10 redusert prodkost i AQT4 og en økt pris med NOK 1.39 og samlet en «biologisk effekt» med NOK +3.49 økt margin i AQT4 vs. KTR. I den samlede «biologiske effekten» endres total produksjon slik at det ikke er eksakt sammenlignbart med faktisk totalproduksjon.

Dødelighet er forholdsvis lav i begge enheter, selv med innsett av 780 grams fisk. Dødelighet er noe høyere i AQT4 og med en høyere registrert vekt på dødfisken, dette gir en økt prodkost med NOK 1.20 i AQT4 vs. kontrollmerden grunnet dødelighet.

Slaktevekt er høyere i AQT4 og dette har en betydelig effekt på både produsert mengde og økt pris. Dette er en av hovedeffektene en ønsker å oppnå med denne type teknologi. Når en har en trygghet i kontroll av merdmiljø, teknisk stabilitet og også ytterligere bedre kontroll på lus er det mulig å sette ut riktig antall fisk i forhold til produksjon slik at en kan slakte på planlagt størrelse og planlagt totalvolum. Lus med nødvendige behandlinger gjør det utfordrende å oppnå ønskelig vekt og volum med konvensjonell teknologi. Kontroll med lus, miljø og produksjon er den største konkurransefordelen med teknologien i Aquatraz.

Kostnader til både forebygging og behandling av lus er lavere i AQT4 enn KTR med ingen kostnader brukt til forebygging (rensing og luseskjørt) og færre behandlinger, dette utgjør samlet reduserte lusekostnader med NOK -2.16 per kg. Dersom lusebehandlinger kan reduseres ytterligere, vil det gi en videre reduksjon i kostnader og trolig også forbedrede biologiske prestasjoner.

Lønn er satt likt (totalsum) i de to enhetene, dette er ikke registrert i detalj og det er derfor noe usikkerhet i estimatet. Det rapporteres imidlertid om mindre behov for daglig tilsyn og vedlikehold i AQT4 enn i konvensjonell merd, på andre områder som styring av strømsettere kreves det mer tid fra operatører. Når teknologien er videre utviklet og stabilisert bør dette måles mer nøyaktig. Andre driftskostnader er samlet relativt likt i de to teknologiene, men kan fordeles på større produsert biomasse i AQT4.

Biologisk førfaktor er ikke evaluert i BP4, dette grunnet mange flyttinger og krevende å estimere den sanne biologiske førfaktoren. På sikt bør det være realistisk å utvikle metodikk som sikrer god førutnyttelse i Aquatraz hvor føring potensielt bør kunne kontrolleres bedre enn i en åpen merd med not.

Kvalitet er relativt lik i to enhetene med litt mer utkast i AQT4, og med litt lavere andel produksjonskvalitet. Effekten av utkast gir 5 øre økt prodkost, men effekten av kvalitet gir 28 øre økt

pris. Kvalitet er betydelig bedre enn i BP2. Kvalitet har spesielt betydning for pris, men også en effekt på produsert biomasse.

En del av den solgte biomassen er kjøpt inn som smålaks til NOK 64.44 per kg rundvekt. Fisk er satt inn ved snittvekt på 780 gram. Innkjøpt smålaks (smolt) utgjør dermed en betydelig del av produksjonskostnaden i AQT4, og på linje med fôrkostnader. Det kjøpes imidlertid inn en biomasse som også gir en verdi. På grunn av økt slaktevekt er smoltkostnader NOK -2.32 per kg lavere i AQT4 vs. KTR. I en kommersiell produksjon vil koordinering og tilhørende kostnader på innkjøpt smålaks være en viktig del av optimalisering ved bruk av slik teknologi.

Det er noe usikkerhet knyttet til antall fisk og snittvekt/ biomasse ved flytting av fisk inn i enheten. Dette gir videre usikkerhet i vurderinger av tilvekst og fôrutnyttelse (FCR) og effekt av disse. Samlet resultat må vurderes ut fra denne usikkerheten. I videre arbeid med biologiprogrammet for Aquatraz bør metodikk for å sikre bedre produksjonstall videreutvikles, dette som grunnlag for analyser. Dette gjelder spesielt inngående antall, inngående snittvekt og registrering av dødelighet. I casestudien ser vi at driftsmessige valg, som nødvendigvis ikke er knyttet til forskjell i teknologi, påvirker resultat og kan gi betydelige effekter i kost-nytte betraktninger. Eksempelvis vil det tidlige slaktetidspunkt for kontrollmerden gi redusert volum og redusert pris, dermed betydelig påvirke kost-nytte betraktningen.

Det bør i videre utvikling av Aquatrazteknologien fokuseres på hvilke områder Aquatraz har størst potensiale til å forbedre de biologiske prestasjonene og dertil tilhørende økonomiske effekter. Ut fra resultatene i AQT1, og AQT4 synes potensialet størst for tilvekst, dødelighet, kontroll med lus, forbedring i fôrutnyttelse og bedring av produktkvalitet. Dersom en klarer å forbedre de biologiske prestasjonene, slik at de blir gode og stabile, er det et betydelig potensial til å utvikle Aquatraz til å bli en kostnadseffektiv teknologi. Forbedring i biologiske prestasjoner vil også gi bedre fiskevelferd og redusert klimaavtrykk.

4.2. Utfôring og tilveksthastighet på døggnivå

Av: Camilla Karlsen, statistiker og Torolf Storsul, veterinær, Aqua Kompetanse

4.2.1. Formål og bakgrunn

Utfôring og tilveksthastighet er sentrale produksjonsparametere, og den daglige variasjonen gjennom produksjonen er interessant å følge for å se om man kan finne tydelige mønstre knyttet til andre faktorer. Av spesiell interesse er det å lete etter indikasjoner på mulige sammenhenger mellom høy tetthet av fisk og tilveksthastighet. Flytefôr er brukt i store deler av produksjonstida i AQT4, mens det er brukt ordinært fôr i resterende merder. Komposisjonen av fôret ellers er oppgitt til å være likt.

4.2.2. Metodikk

Som indikator på tilveksthastighet er VF3 (vekstfaktor 3 eller TGC, thermal growth coefficient) valgt:

$$VF3 = \left(vekt_2^{1/3} - vekt_1^{1/3} \right) \times 1000 \times \sum T^{-1}$$

I formelen er vekt₂ sluttvekten, vekt₁ er startvekten og $\sum T^{-1}$ er døgnggradsummen. Utfôringsprosent vil være en del av grunnlaget for tilvekst per dag og dermed for VF3. Utfôringsprosent vil også være avhengig av sjøtemperaturen og fiskens vekt. VF3 er derimot laget for å være uavhengig av temperatur og fiskestørrelse og kan brukes som et mål gjennom produksjonen hvor sjøtemperatur og fiskestørrelse varierer. Av den grunn er VF3 valgt som indikator, og utfôringsprosent vil ikke bli omtalt i denne rapporten.

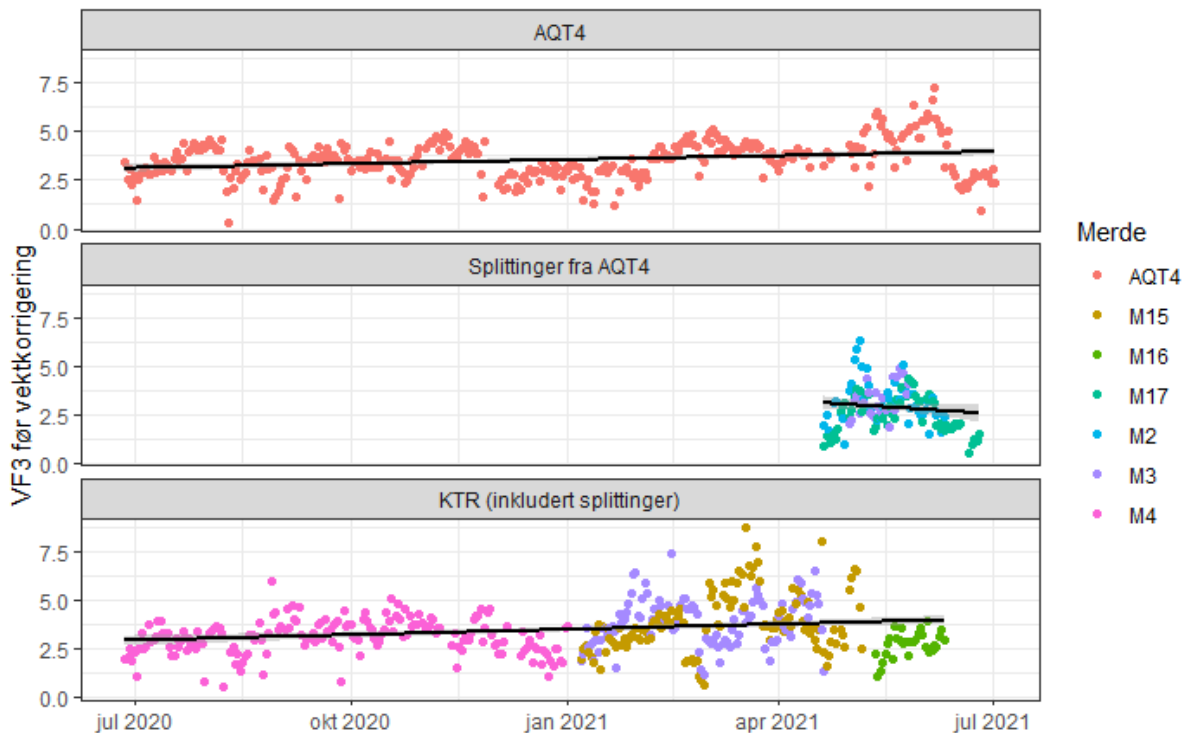
Data er hentet fra produksjonsstyringssystemet Fishtalk, hvor inndata er beregnet utfôret mengde per merd per dag, og basert på en modell vil systemet beregne en snittvekt for populasjonen i merden. På sultedager vil VF3 være null, og på dager hvor det er gjort vektjustering vil VF3 få en avvikende verdi, i noen tilfeller et negativt tall og i andre tilfeller et usannsynlig høyt tall. Slike verdier er fjernet, slik at det kun er gjort en sammenligning basert på fôringsdager uten andre forstyrrende faktorer.

Regresjonsanalyse er brukt for å få en indikasjon på sammenhengen mellom VF3 og tetthet. Det er testet om dataene er normalfordelte ved bruk av Shapiro-Wilk's test. For å undersøke om det er noe trend mellom høy tetthet og tilveksthastighet er en kvadratisk regresjonsmodell, som inkluderer både et lineært og et kvadratisk ledd av tetthet, brukt. Pearson korrelasjonskoeffisient er brukt for å måle styrken av den lineære sammenhengen mellom VF3 og tetthet. Signifikansnivået er satt til 0,05. Andre faktorer som påvirker VF3 er ikke inkludert i regresjonsmodellen, så man kan ikke bruke resultatene til å konkludere med kausalitet. Kruskal-Wallis test er benyttet for å sjekke signifikante forskjeller i datasettet, og parvis Wilcoxon rank sum test er utført for å undersøke variasjoner mellom merdene.

Både data fra AQT4, KTR og deres splittings er studert i dette kapitlet. Fisken som sto i AQT4 er fulgt fra oppstart av programmet til slakt, mens fisken som ble splittet fra AQT4 til M2, M3 og M17 er sett på samlet. Årsaken til dette er at det er for få datapunkter og for liten spredning i tetthet til å få en representativ regresjonslinje for hver enkelt merd. For å kunne sammenligne tilveksthastighet på merdnivå er datapunktene i figurene gruppert etter merdnummer. Tettheten i de tre merdene som er splittet fra AQT4 er tilnærmet lik, så selv om disse blir behandlet samlet er tetthetsintervallet smalt. For å finne tydelige mønstre mellom tetthet og VF3 burde spennet over tetthet være større, slik at regresjonslinjen ikke blir påvirket av enkeltpunkter i så stor grad. Regresjonslinjen for de merdene som ble splittet fra AQT4 er dermed kun en visuell trendlinje, og brukes ikke i vurderingen av sammenhengen mellom VF3 og tetthet. KTR og splittingsene fra den er også analysert samlet, men her spenner den samlede tettheten over et større intervall og regresjonslinjen kan brukes til å vurdere sammenhenger mellom VF3 og tetthet.

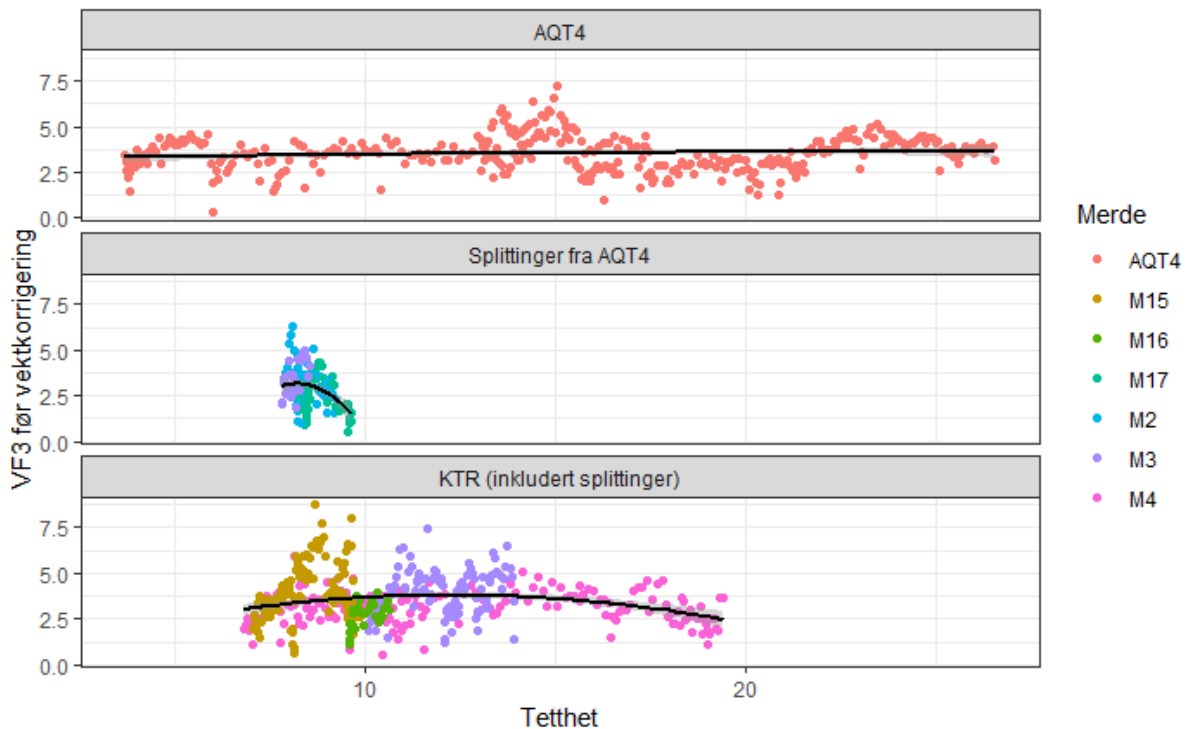
4.2.3. Resultater og diskusjon

Figur 4.2 inneholder en tidslinje av VF3 på fôringsdager for AQT4, splittingene fra AQT4 og KTR. Det er ingen signifikante forskjeller mellom utviklingen av VF3 på dagnivå for AQT4 og KTR. Blant de merdene som ble splittet fra AQT4 er derimot VF3 for M17 signifikant lavere enn de to andre merdene. For perioden etter splittingen av AQT4 er VF3 for AQT4 signifikant høyere enn M17 og M2. Etter splittingen av KTR er det relativt stor variasjon i VF3 på dagnivå, men det er ingen signifikante forskjeller mellom M3 og M15.



Figur 4.2: Utviklingen av VF3 på dagnivå gjennom produksjonen. Datapunktene er farget etter merde nummer.

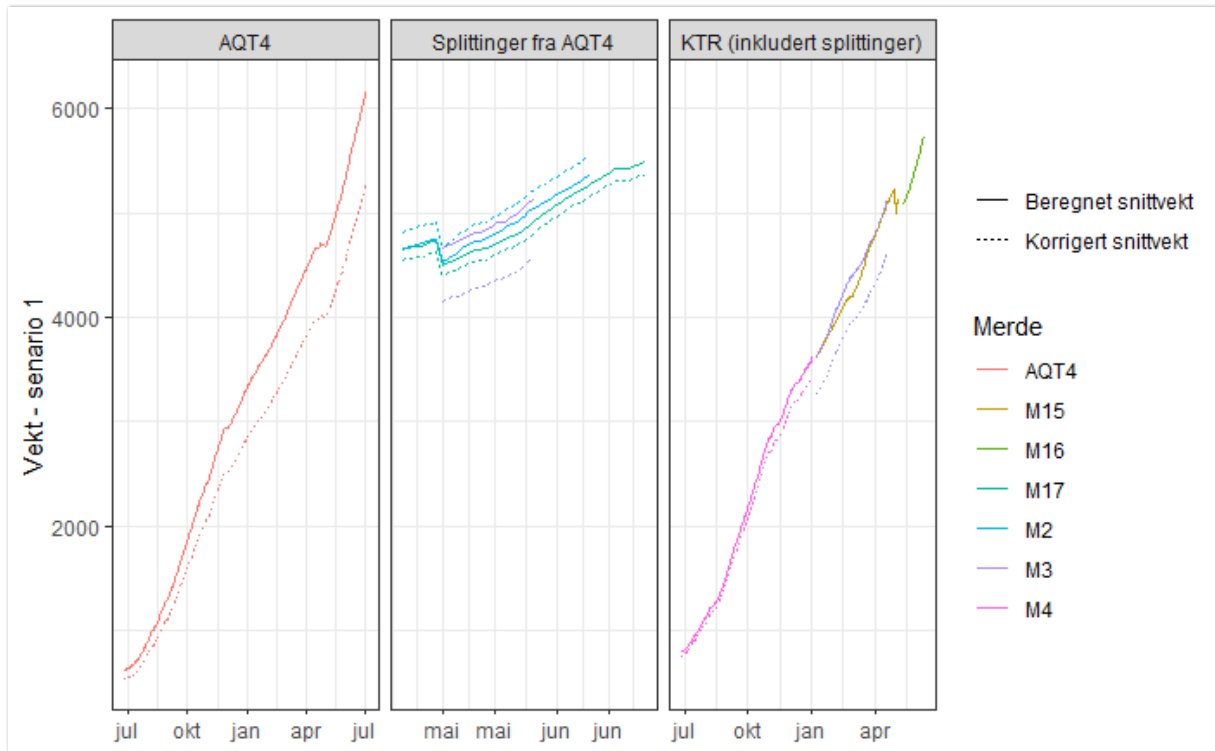
Figur 4.3 viser VF3 plottet mot tetthet for AQT4 og KTR. For AQT4 er VF3 på omtrent samme nivå ved de høyeste som ved de laveste tetthetene. I KTR er det en tendens til nedgang i VF3 ved de høyeste tetthetene, men også lavere VF3 ved lavere tettheter enn midlere tetthet. Regresjonsmodellen indikerer ingen signifikant sammenheng mellom tetthet og VF3 for AQT4, mens den indikerer en kurvet trend for KTR. For kontrollmerden stiger VF3 med økende tetthet opp til ca. $12,5 \text{ kg/m}^3$ før VF3 avtar med økende tetthet. KTR M15 skiller seg ut med en større variasjon i VF3 enn de andre merdene. For alle tre regresjonslinjene er det store avvik fra datapunktene, så regresjonsmodellen beskriver kun en liten del av variasjonen i dataene. Dette indikerer at det er flere faktorer som påvirker VF3, og at disse må inkluderes for å se på kausalitet. For AQT4 er det ingen trend som indikerer at høy tetthet korrelerer med lav VF3. For KTR er det derimot en signifikant trend som indikerer at VF3 minker for høye tettheter, men dette kan også skyldes innvirkning fra en eller flere bakenforliggende årsaker. Tettheten i merdene AQT4 er splittet til varierer fra $7,8 \text{ kg/m}^3$ til $9,6 \text{ kg/m}^3$. På dette intervallet indikerer trendlinjen at VF3 minker med økende tetthet, men som nevnt tidligere er datagrunnlaget for svakt til å gi et reelt bilde på sammenhengen mellom tetthet og VF3 i de splittede merdene.



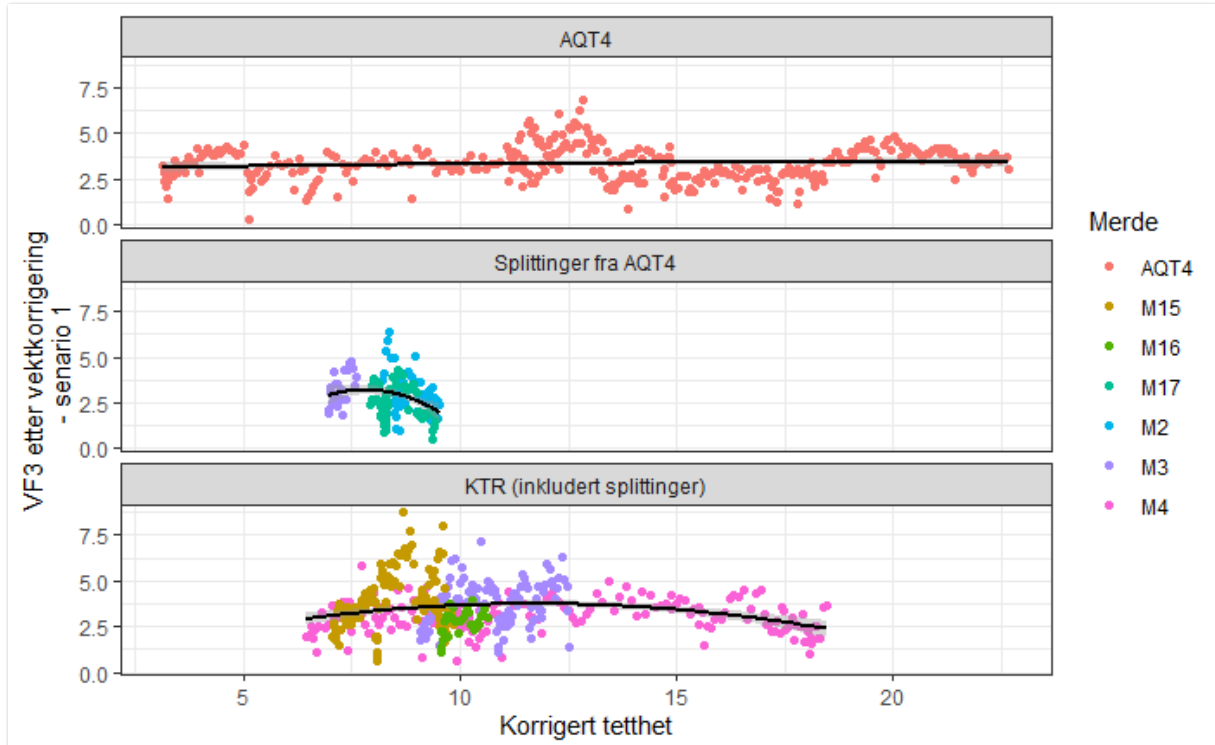
Figur 4.3: VF3 og tetthet. Datapunktene er farget etter merdnummer.

Det ligger en usikkerhet i at snittvekten undervegs i produksjonen er modellert eller basert på vektprøver som ikke nødvendigvis gir et helt korrekt bilde. Vektjusteringer er gjort på tidligere tidspunkt i produksjonen for AQT4 enn KTR, noe som gir systematisk ulikt utslag på VF3 mellom de to merdene. Det er først ved slakt at man får en sikker korreksjon på modellert snittvekt. Slaktevekten avviker negativt fra den beregnede snittvekten med 14,7 % for AQT4 og 10,1 % for KTR (M3). Det er kun -12,9g i avvik fra beregnet snittvekt til slaktevekt for den andre kontrollmerden M16. Det er også relativt små avvik i M2 og M17, som er de to merdene det først ble splittet til fra AQT4. M2 har et positivt avvik på 3,4 %, mens M17 har et negativt avvik på 2,2 %. M3, som ble splittet ut fra AQT4 ti dager senere, har et betydelig større negativt avvik (-11,0 %). På grunn av dette mistenkes det at det under første splitting ble en skjevfordeling mellom merdene, hvor den minste fisken ble værende igjen i AQT4. Hva som er sann snittvekt for populasjonene til enhver tid vet man ikke presist, så for å se på hvordan dette påvirker datamaterialet og konklusjonene er tre ulike scenarier studert. Med det betydelige vektavviket ved slakt i AQT4 råder det også usikkerheter om man noen gang har vært over grensen på 25kg/m³. Tettheten i de ulike scenarioene er korrigert slik at den stemmer overens med korrigert snittvekt.

Ved scenario 1 antas det at beregningen av snittvekt har vært for høy gjennom hele produksjonen (figur 4.4). Den beregnede snittvekten reduseres dermed med prosentavviket ved slakt for de ulike merdene. De største korreksjonene blir gjort for AQT4 (-14,7 %), KTR M3 (-10,1 %) og AQT4 M3 (-11,0 %). For KTR M4 blir det korrigert med det samlede avviket i de splittede merdene (-4,9 %). Figur 4.5 viser beregnet VF3 ved scenario 1 plottet mot korrigert tetthet. Det er ingen store forskjeller fra opprinnelig resultat (figur 4.3), da alle snittvektene fra samme merd er korrigert med den samme faktorstørrelsen. En lik korreksjon gjennom hele produksjonen vil dermed ikke påvirke konklusjonen fra figur 4.3. Den betydelige korreksjonen i snittvekt har ført til at den høyeste oppnådde tettheten ved dette scenarioet er 22,7 kg/m³, og dermed under grensen på 25kg/m³.



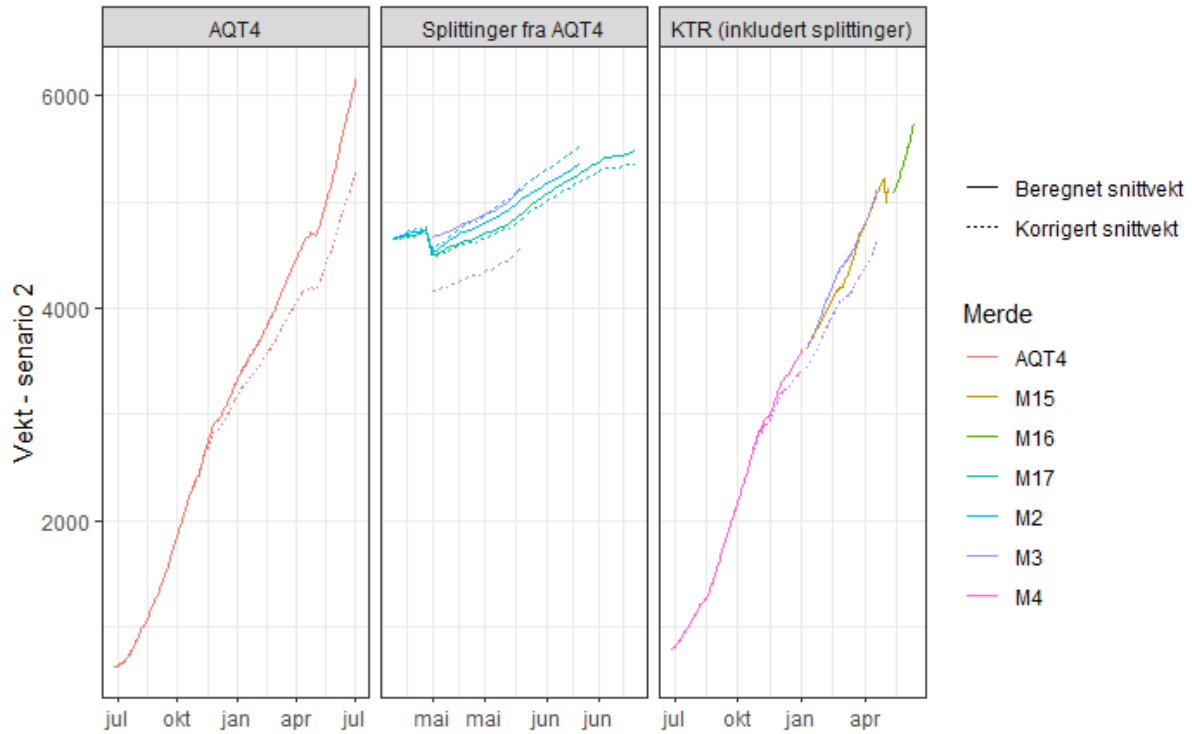
Figur 4.4: Beregnet snittvekt (fra produksjonsstyringssystemet Fishtalk) i heltrukken linje, sammenlignet med korrigert snittvekt i senario 1 som stiple linje. Linjene er farget etter merdnummer.



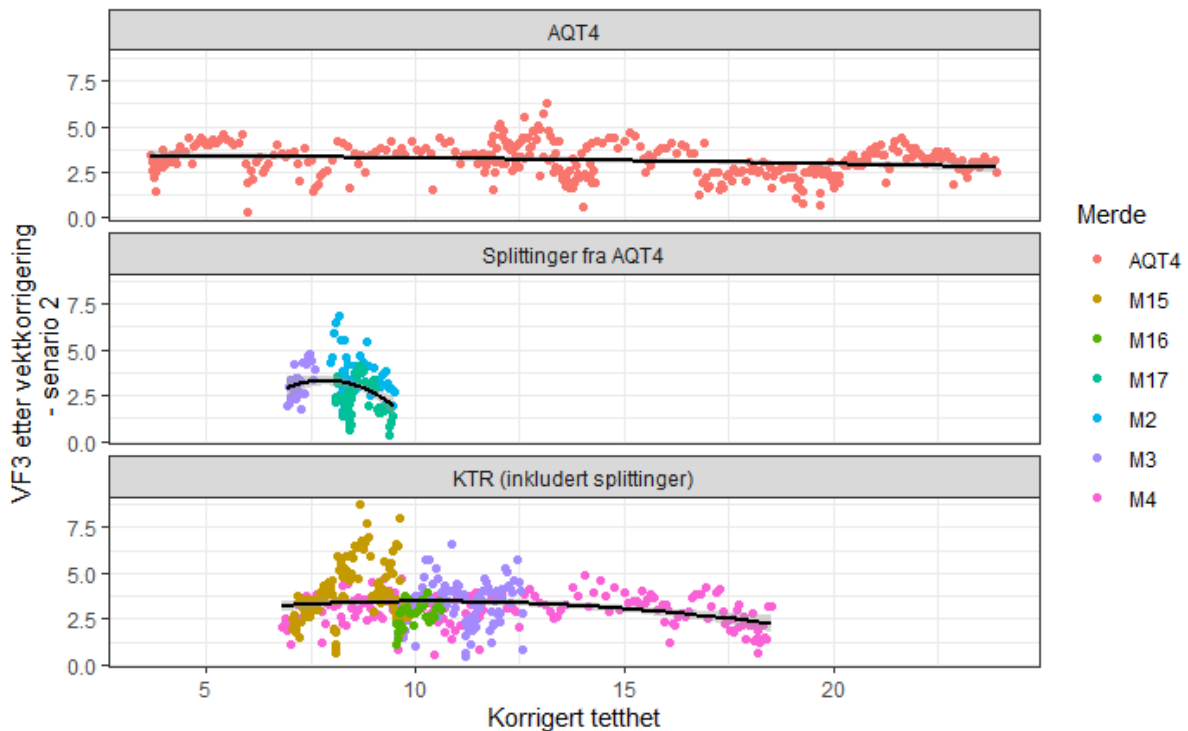
Figur 4.5: Beregnet VF3 etter at snittvekten er korrigert ut fra senario 1. Datapunktene er farget etter merdnummer.

Ved senario 2 antas det at beregnet snittvekt er tilnærmet riktig de første 100 dagene (figur 4.6). Etter 100 dager antas det at det prosentvise avviket øker jevnt med tiden, slik at snittvekten ved slakt blir

korrigert til endelig slaktevekt. Figur 4.7 viser beregnet VF3 ved senario 2 plottet mot den korrigerede tettheten. Ved dette senarioet er det størst korreksjon i snittvekt ved slutten av produksjonen, og det er dermed også størst negativ korreksjon i VF3 ved slutten av produksjonen. Den økende korreksjonen medfører en større differanse mellom tettheten ved slaktetidspunkt og de høyeste tetthetene. Også ved dette senarioet er den høyeste tettheten under grensen på 25 kg/m³, men har økt til 23,9 kg/m³. For AQT4 er det en svak negativ lineær korrelasjon mellom VF3 og tetthet, men det er ingen signifikante ledd i den kvadratiske regresjonsmodellen. For KTR er det fortsatt en signifikant kurvet trend mellom VF3 og tetthet.



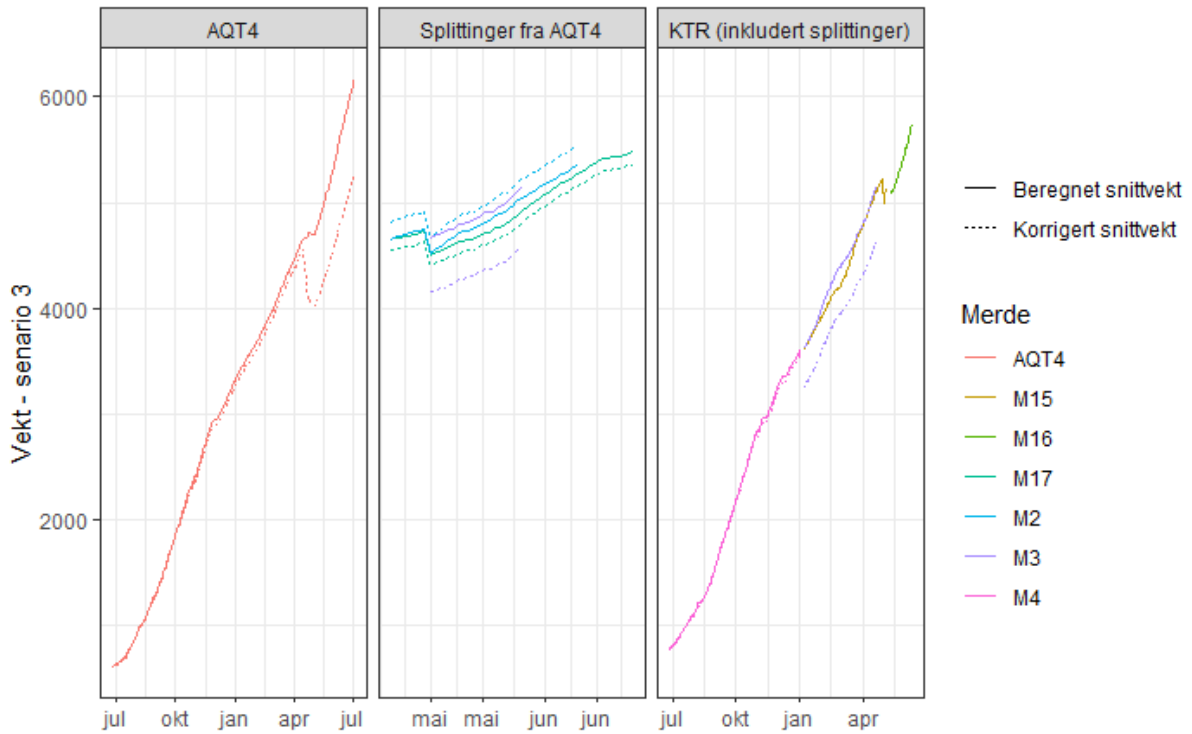
Figur 4.6: Beregnet snittvekt (fra produksjonsstyringssystemet Fishtalk) i heltrukken linje, sammenlignet med korrigert snittvekt i senario 2 som stiplede linje. Linjene er farget etter merdnummer.



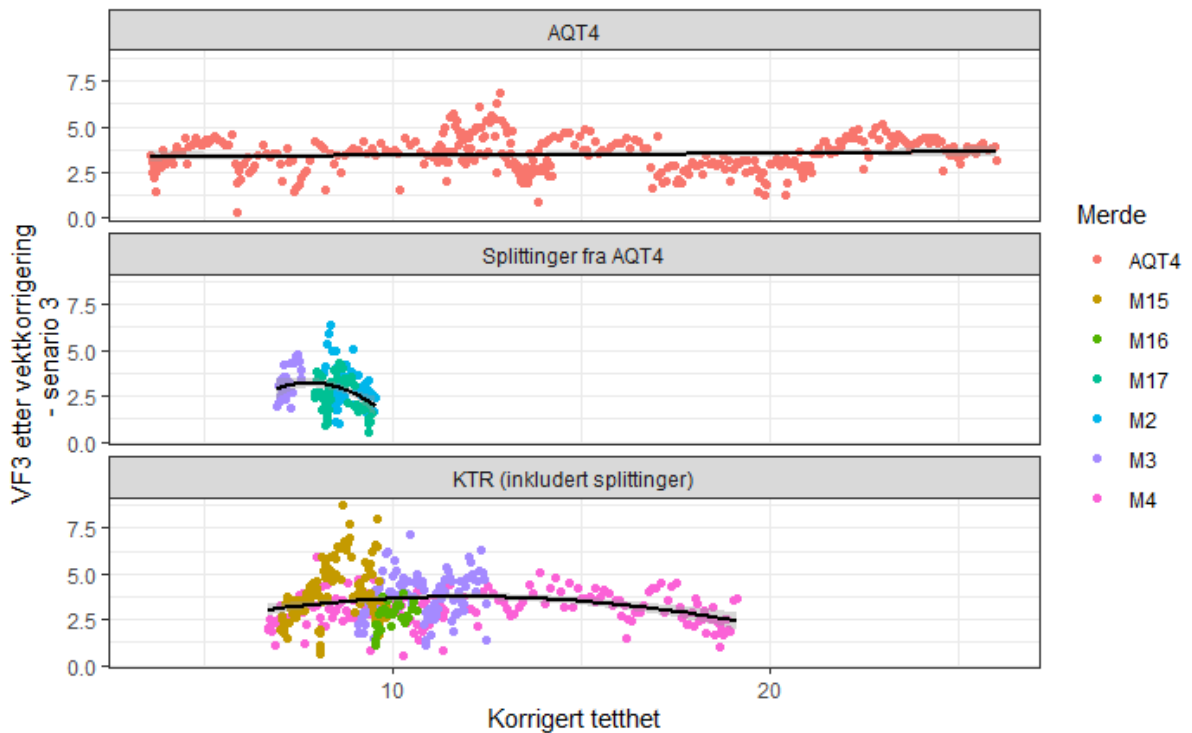
Figur 4.7: Beregnet VF3 etter at snittvekten er korrigert ut fra senario 2. Ingen korrigering de første 100 dagene, og en økende prosentvis korrigering fra dag 100 til slakt (fra 0 % til -14,7 % korreksjon for AQT4). Datapunktene er farget etter merd nummer.

Ved senario 3 antas det at vektavviket hovedsakelig skyldes at man under splitting ikke har fått et representativt utvalg, og at snittvekten til de gjenværende fiskene er lavere enn før splittingen. I tillegg antas det at snittvekten er beregnet noe for høyt fra utsett (figur 4.8). Frem til første splitting av AQT4 og KTR er det korrigert for en tredjedel av det samlede avviket ved slakt (-2,1 % for AQT4 og -1,6 % for KTR). Etter splitting er snittvekten for de ulike merdene korrigert med det prosentvise avviket fra slaktevekten. For perioden mellom første og andre splitting av AQT4 er det korrigert for det samlede prosentavviket ved slakt i AQT4 og M3 (-13,0 %). Figur 4.9 viser beregnet VF3 ved senario 3 plottet mot den korrigerede tettheten. Det er ingen store forskjeller fra de tidligere senarioene, men siden den største korreksjonen skjer etter splittingene blir differansen i VF3 før og etter splitting noe mindre. Tettheten er på sitt høyeste rett før første splitting, og siden det kun er en liten korreksjon før splitting blir ikke de høyeste tetthetene korrigeret i noe stor grad. Den høyeste korrigerede tettheten er 26 kg/m³, så ved dette senarioet passeres grensen på 25 kg/m³. I likhet med opprinnelig konklusjon (figur 4.3) er det ingen signifikant trend mellom VF3 og tetthet for AQT4, mens det for KTR er en signifikant kurvet trend.

Fra disse tre senarioene er det tydelig at det er en sterkere sammenheng mellom VF3 og tetthet for kontrollmerden enn for AQT4. Resultatene for kontrollmerden indikerer at høye tettheter korrelerer med lav VF3, men det er ingen tydelig trend som indikerer dette for AQT4. Sammenhengen mellom VF3 og tetthet kan også være påvirket av andre bakenforliggende årsaker. Fra senario 2 ser man at en varierende korreksjon på snittvekten kan påvirke samvariasjonen mellom VF3 og tetthet. Siden årsaken til slakteavviket er ukjent, kan man derfor ikke utelukke andre sammenhenger mellom VF3 og tetthet. Det betydelige slakteavviket medfører også usikkerhet om man noen gang har vært over grensen på 25kg/m³, og om man dermed ikke har noen indikasjoner på om tetthet over denne grensen medfører lavere VF3.



Figur 4.8: Beregnet snittvekt (fra produksjonsstyringssystemet Fishtalk) i heltrukken linje, sammenlignet med korrigert snittvekt i senario 3 som stiplet linje. Linjene er farget etter merdnummer.



Figur 4.9: Beregnet VF3 etter at snittvekten er korrigert ut fra senario 3. Korrigerer gjennom hele produksjonen, men øker korreksjonen etter splittingen i april (AQT) og januar (KTR). Datapunktene er farget etter merdnummer.

4.3. Fôrfaktor og akkumulert VF3

Med betydelige usikkerheter som beskrevet over er det ikke mulig å si noe sikkert om akkumulert VF3 for hver enkelt splittet merd ved slutten av produksjonen, og heller ikke for fôrfaktor vil man kunne se på den oppløsingen. Produksjonsstyringssystemet gir imidlertid tall for biologisk (bFF) og økonomisk (øFF) fôrfaktor samt akkumulert VF3 for hver hovedgruppe ved avsluttet produksjon (tabell 4.9). En produksjon med større grad av presisjon i grunnlagstallene ville gitt grunnlag for bedre oppløsning i oppsummering og tolkning, dette kan tas med i vurderingen ved eventuelle senere program.

Tabell 4.9: Akkumulert VF3, biologisk fôrfaktor (bFF) og økonomisk fôrfaktor (øFF) for hver hovedgruppe ved avsluttet produksjon.

Gruppe	Akk. VF3	bFF	øFF
AQT4 inkl. splittinger	3,05	1,29	1,39
KTR inkl. splittinger	3,16	1,18	1,26

5. Helse og velferd

5.1. Velferdsvurderinger

Av: Torolf Storsul, veterinær, og Lauris Boissonnot, FoU-koordinator, Aqua Kompetanse AS

5.1.1. Formål og bakgrunn

Formålet med å score operative velferdsindikatorer på individnivå var å overvåke og sammenligne tilstanden til fisken i Aquatrazmerden (AQT) med fisken i den konvensjonelle kontrollmerden (KTR). Ved eventuelle avvik mellom de to systemene må man vurdere om de kan knyttes til Aquatrazmerdens egenskaper eller om andre forhold kan ha spilt inn.

5.1.2. Metodikk

Prøveuttakene ble gjennomført månedlig fra merdene AQT og KTR i perioden juni 2020-mai 2021, med ett unntak. I desember 2020 måtte prøveuttaket utsettes grunnet annen arbeidsoperasjon på lokaliteten, og et prøveuttak nært opptil jul kunne ikke gjøres fordi det ikke var mulig å følge opp kvalitetsprøvene i henhold til fastsatt protokoll. Dette prøveuttaket ble derfor utført i januar.

Ved hvert uttak ble kastenot brukt til å fange et så tilfeldig utvalg av 40 ± 2 levende individer som mulig. Fisken ble sedert med benzokain. Det ble målt lengde avrundet til nærmeste 0,5 cm og vekt avrundet til nærmeste 10 gram. Det var delvis utfordrende å få vekten til å stabilisere seg og vise entydig resultat på grunn av ustabil underlag og vind. Det ble ventet til vekten indikerte stabilitet, likevel vil det være en feilmargen på vektresultatene.

På sluttprøveuttaket i KTR 26.04.2021 og AQT4 03.05.2021 ble det gjennomført scoring på 30 individer per merd. Her var scoringen så tett inntil slaktetidspunkt for kontrollmerden at man på grunn av tilbakeholdelsestid ikke kunne ha bedøvd fisk tilbake i merd, og det ble derfor vurdert slik at man ikke avlivet flere fisker enn de man skulle ta ut til histologi- og kvalitetsprøver. Ved dette siste prøveuttaket ble det derfor ut fra en visuell vurdering håvet 30 fisker som man antok tilfredsstilte protokollen til kvalitetsprøver, altså $\pm 20\%$ i forhold til snittvekt i aktuell merd ut fra Fishtalkdata den aktuelle dagen. Lik prosedyre ble fulgt på det siste prøveuttaket i AQT4 for å gjøre sammenligningsgrunnlaget så godt som mulig.

Utvalgte individbaserte operative velferdsindikatorer (OVI), i tillegg til vekt og lengde, ble målt på individene. Benyttede OVI ble basert på Fishwell-standard (Noble et al. 2018; del B kapittel 6) som omhandler semilukkede anlegg, samt erfaringer i MNH og kunnskap om Aquatrazmerden med vannutskiftning og strømsettere.

Følgende OVI ble registrert:

- Aktiv ryggfinneskade
- Helbredet ryggfinneskade
- Aktiv brystfinneskade
- Helbredet brystfinneskade
- Aktiv halefinneskade
- Helbredet halefinneskade
- Ryggdeformiteter
- Skjelltap
- Sår

- Hudblødning
- Snuteskade
- Øyeskade
- Utstående øye
- Gjellelokkskade
- Overkjevedeformitet
- Underkjevedeformitet
- Katarakt

Alle OVI ble scoret med skala fra 0 til 3 med unntak av katarakt som ble scoret på en skala fra 0 til 4. Score 0 angir ingen anmerkninger, deretter stiger alvorlighetsgraden med økende tallverdi. Plansjer hentet fra Noble et al. (2018) ble brukt ved tvil om scoring. Ved scoringen ble det praktisert en høy terskel for å gi score 0, det betyr at små finnesplittelser som man finner på en svært stor andel oppdrettslaks har gitt score 1. Likeledes er det vanskelig å håve opp fisk til undersøkelse uten at det oppstår noe skjelltap. For fisk med score 1 på skjelltap kan dette derfor være relatert til håndtering ved undersøkelsen.

Samtlige kontroller ble utført av samme person, veterinær Torolf Storsul, med henblikk på å minimere subjektive tolkninger av Fishwell-skalaen. Alle registreringer er gjort direkte i appen FishCtrl levert av Anteo, slik at risikoen for feiltasting er minimert ved at det ikke er kladdet på papir og senere ført inn i dataverktøy. Bruken av denne appen har også forenklet videre bearbeiding av resultatene.

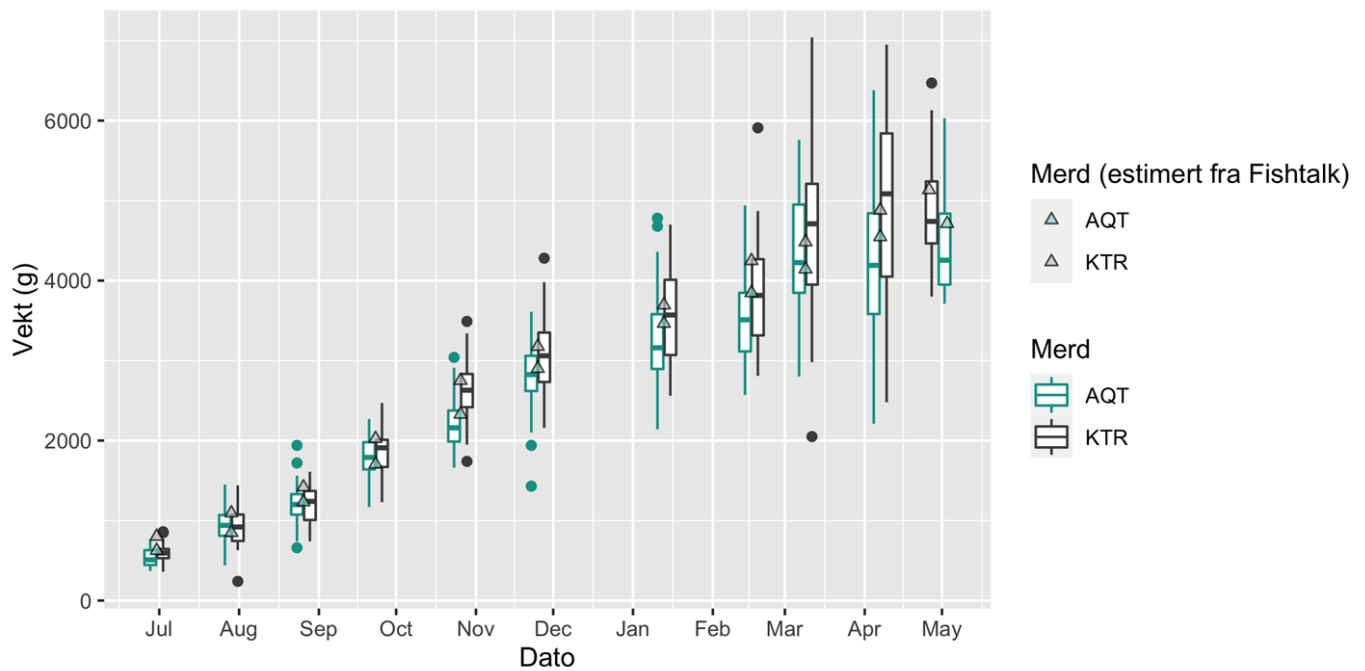
Alle data ble hentet ut fra FishCtrl og behandlet i statistikkprogrammet R (R Core Team 2019). Kondisjonsfaktor ble beregnet med Fultons formel: $k\text{-faktor} = 100 \times \text{Vekt} / \text{Lengde}^3$. Normaldistribusjon av data ble testet med Shapiro-Wilk's test. Dataene var ikke normaldistribuert, og Kruskal-Wallis test ble derfor benyttet som et ikke-parametrisk alternativ til enveis ANOVA for å undersøke signifikante forskjeller i datasettet. Dersom Kruskal-Wallis var signifikant ble post-hoc parvis Mann-Whitney Wilcoxon test utført for å undersøke variasjoner mellom merder på hver dato. Signifikansnivå var satt til $p < 0.05$.

5.1.3. Resultater

5.1.3.1. Vekt

Vektdata (figur 5.1), lengde og k-faktor (vedlegg) viste ingen signifikante forskjeller mellom gruppene. Det er et begrenset materiale med 40 ± 2 fisk per merd per undersøkelsesdato (30 ved siste undersøkelse), samt at både utfordringen med å få tak i et representativt utvalg og ustabilitet i vekta ved sjøgang gir noe støy til analysen. Vektdata ved siste undersøkelse må tolkes svært forsiktig på grunn av utvalgsmetodikken.

I figur 5.1 framgår det at man ved enkelte undersøkelser har kommet fram til en lavere vekt enn man gjorde måneden før på samme merd, og at det kan veksle hvilken merd som kommer ut med høyest vekt mellom de ulike kontrollene. Dette illustrerer at de nevnte faktorene gjør at man ikke har presise vektestimater for populasjonen fra disse undersøkelsene. Det var heller ikke primærformålet, da vekt, lengde og beregnet k-faktor ble registrert for å ha kontroll på at man ikke baserte velferdsvurderingene på indikatorer registrert på et systematisk feil utvalg av populasjonen. Registreringene gir ikke grunnlag for å mistenke slike feil.



Figur 5.1: Boksploott av vektdata hos fisk fra AQT4 ($n = 428$) og fisk fra KTR ($n = 429$). Det ble ikke funnet signifikant forskjell mellom fisk fra AQT4 og fisk fra KTR (Kruskal-Wallis test, $p > 0,05$). Trekanter indikerer snittvekt fra produksjonsstyringsystemet Fishtalk på de aktuelle tidspunktene.

5.1.3.2. Velferdsindikatorer

Utvikling over tid

I oppfølgingsperioden ble det observert få individer med utslag på OVI som vurderes relatert til settefiskfasen, og disse var stort sett av mild karakter (ryggdeformiteter, overkjeve- og underkjevedeformiteter, figurer i vedlegg), både i AQT4 og KTR. Den samme observasjonen ble gjort på gjellelokkskade (figur i vedlegg). Det understrekes at ryggdeformiteter er en OVI hvor det er betydelig usikkerhet knyttet til en enkel undersøkelsesmetodikk som observasjon og palpasjon. Aktive finneskader ble hyppig observert i AQT4 og KTR (figur 5.2 og to figurer i vedlegg), andel fisk berørt og alvorlighetsgrad varierte fra dato til dato, uten klart mønster. Nesten alle fiskene ble diagnostisert med helbredet finneskade i begge merdsystemer i hele oppfølgingsperioden (tre figurer i vedlegg).

Tydelig negativ utvikling ble observert på sår i hele oppfølgingsperioden, både i AQT4 og KTR, spesielt på etterjuls vinteren og våren hvor det har vært en økt andel av score 3 for denne indikatoren (figur 5.6). Også for snuteskade har det vært en negativ utvikling i hele oppfølgingsperioden i begge gruppene (figur 5.7). Håndtering og avlusing kan være en årsak i KTR, mens tekniske problemer med strømsettere kan være en forklaring i AQT4. Generelt i norsk oppdrettsnæring er det også slik at sårutvikling er et typisk høst- og vinterproblem, samt at håndtering og avlusing er kjente risikofaktorer (Sommerset et al. 2021).

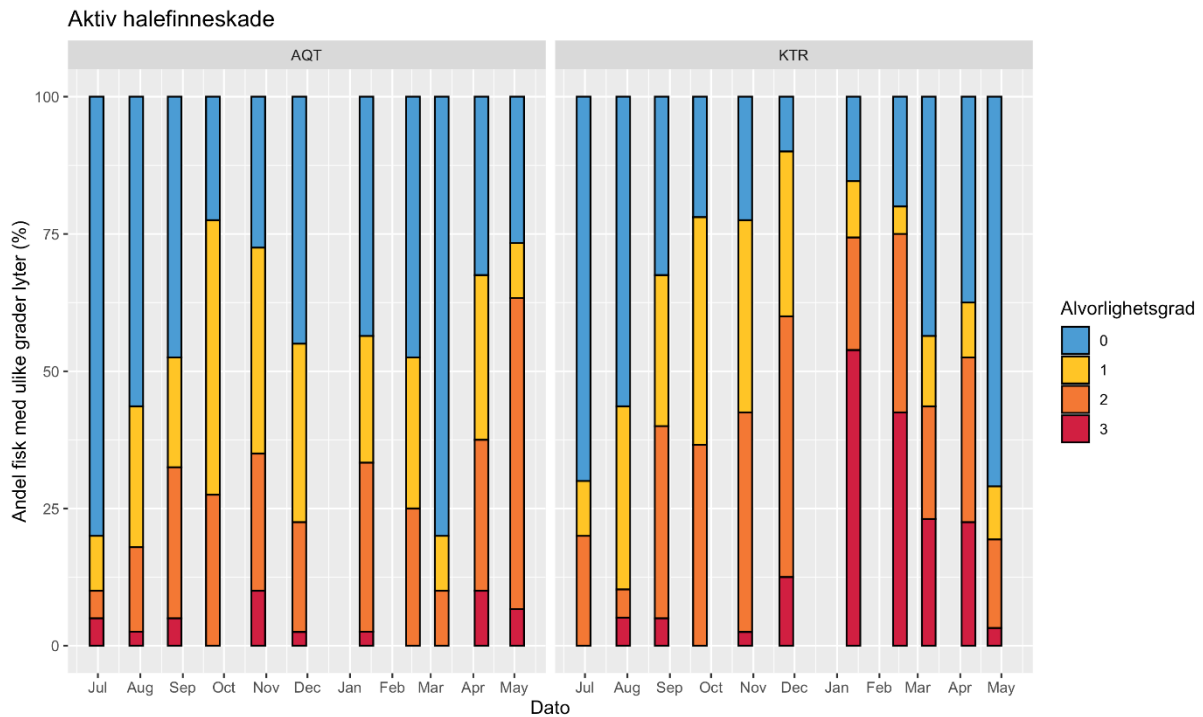
Forskjeller mellom AQT4 og KTR

For hele oppfølgingsperioden kom de tre OVI aktiv halefinneskade, skjelltap og hudblødning ut med signifikant høyere score i KTR enn i AQT4 ($p < 0.001$). De største forskjellene mellom AQT4 og KTR ble funnet gjennom vinteren for aktiv halefinneskade (november til mars, $p < 0.001$), skjelltap (november til mars, $p < 0.001$) og hudblødning (november til februar, $p < 0.001$), som vist i tabell 5.1 og figur 5.2, 5.3 og 5.4. Da var det fisken i KTR som hadde høyere score-verdi for alle disse OVI og alle tidspunkt. Håndtering kan være årsak til økt score på disse indikatorene, da fisken i KTR var gjennom tre avlusinger i perioden november til januar mens fisken i AQT4 ble avluset kun én gang i samme tidsrom

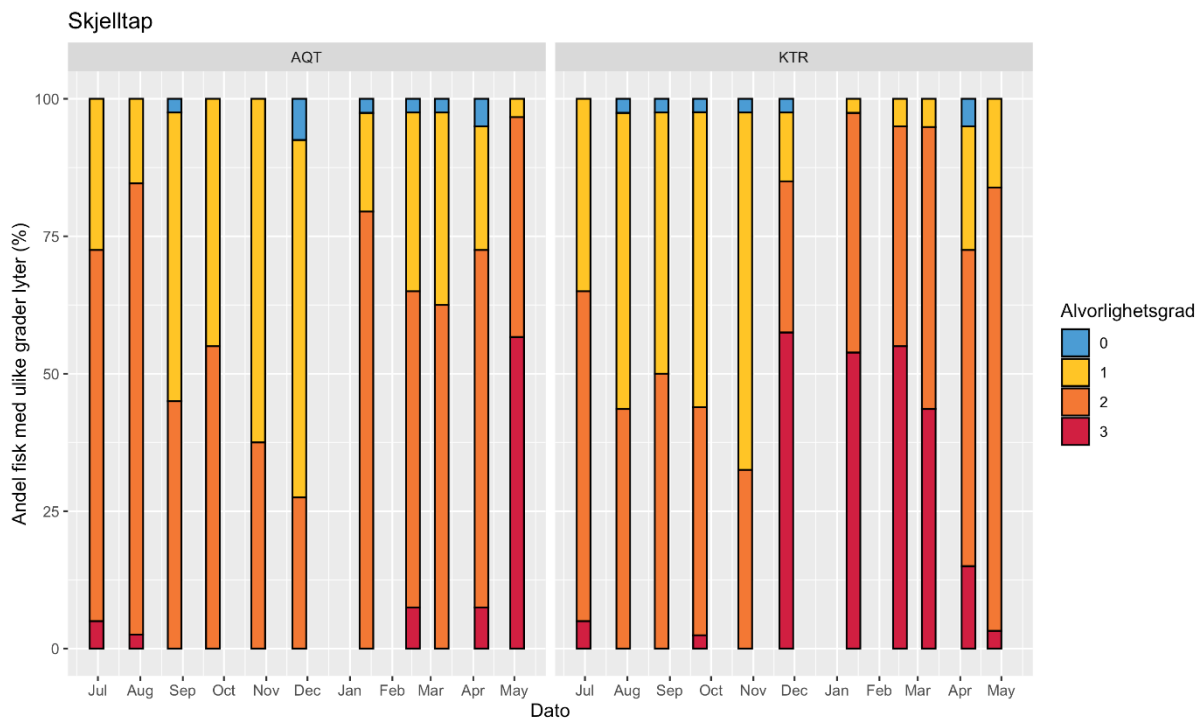
(tabell 6.1). Skader som er påført tidlig på vinteren kan vedvare lenge på grunn av lave sjøtemperaturer og påfølgende sen heling. Signifikante forskjeller med p-verdi $< 0,05$ ble også funnet for hudblødning i september og for sår i januar, i begge tilfellene var score-verdiene høyest i KTR. Ved undersøkelsen i september var det ingen forutgående håndteringer og det ble ikke funnet noen åpenbar forklaring på denne forskjellen. En signifikant forskjell for sår i januar antas å henge sammen med samtidige forskjeller for skjelltap og hudblødning, og ses opp mot forskjeller i avlusing og håndtering

I juli 2020 ble fisken i AQT4 også vurdert med høyest score-verdi for skjelltap (figur 5.3, $p < 0.001$). Dette kan ha sammenheng med skader etter flyttingen av fisk til AQT4 i juni. Samtidig må det bemerkes at undersøkelsen i juni ble utført få dager etter denne flyttingen, og selv om det ble observert høyere score-verdier på fisken i AQT4 også i juni, var disse ikke signifikante. Det ble også funnet signifikante forskjeller for halefinneskade, skjelltap og hudblødning ved siste undersøkelse ($p < 0.001$), hvor fisken i AQT4 som hadde høyest score. Fisken i AQT4 var avluset få dager før undersøkelsen, mens fisken i KTR på dette tidspunktet ikke hadde blitt håndtert på om lag fire måneder. Undersøkelsen ble utført ca. 2 uker etter maksimal fisketetthet ble oppnådd i merden. Indikatorene var imidlertid sammenfallende med det som tidligere var observert etter håndtering/avlusing.

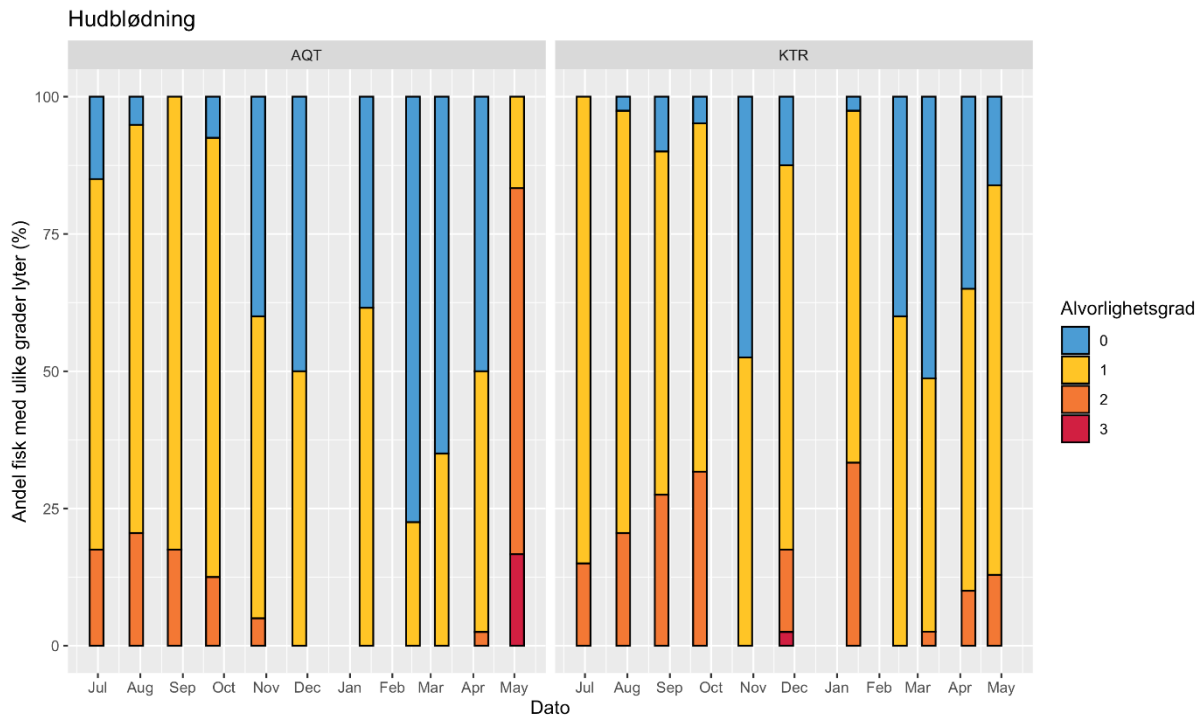
Fisken ble vurdert med samme grad katarakt i AQT4 og KTR i hele oppfølgingsperioden, med unntak av den siste undersøkelsen da fisken i AQT4 hadde høyest score (figur 5.5, $p < 0.001$). I tillegg til katarakt hadde flertallet av individer også keratitt (betennelse i hornhinna) ved det siste prøveuttak. Keratitt vanskeliggjorde undersøkelsen for katarakt og muligheten er åpen for at det er keratitt som er hovedfunnet og at diagnosen katarakt er satt på for mange fisker. Det er likevel kjent at osmotisk katarakt kan utvikle seg og forsvinne igjen i løpet av få uker (Bjerkås et al. 2003), og det kan ikke utelukkes at kataraktscoringen er korrekt. Keratitt kan skyldes fysiske, ernæringsbetingede, kjemiske, termiske eller infeksjose årsaker (Bruno et al. 2013). Katarakt kan skyldes en rekke årsaker: ernæringsbetingede, osmotisk ubalanse, termiske, toksiske, UV-stråling, oksidativt stress, genetisk predisposisjon, rask vekst, gassovermetning og raske endringer i vannets saltinnhold (Bruno et al. 2013). Siden begge tilstandene ble funnet ved denne undersøkelsen, kan det være fysiske årsaker til de observerte forandringene.



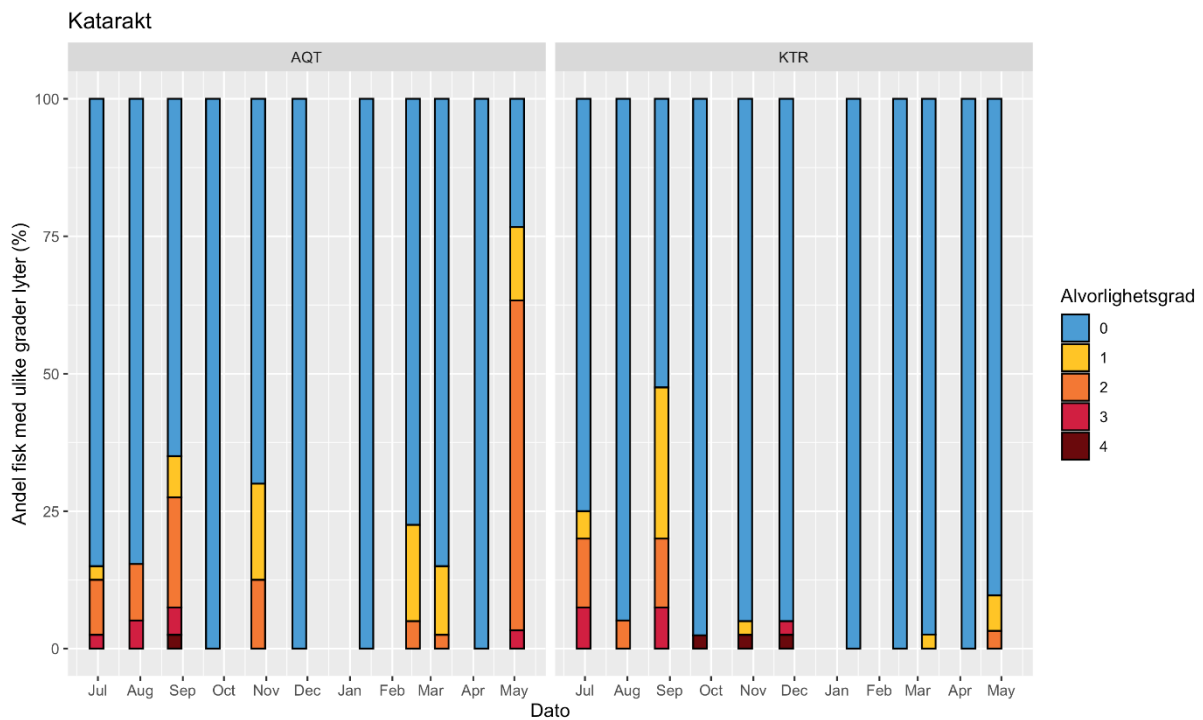
Figur 5.2: Andel fisk (%) med ulike score-verdier for aktiv halefinneskade på fisk fra AQT4 og KTR på alle undersøkelsesdatoer.



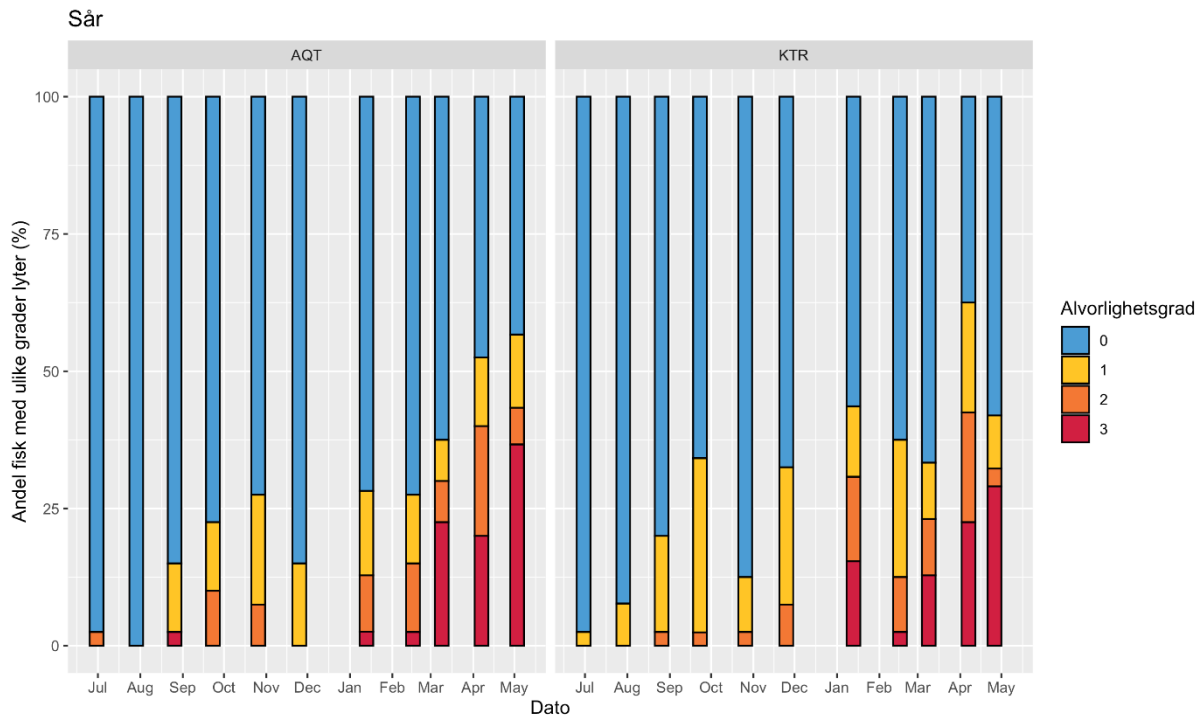
Figur 5.3: Andel fisk (%) med ulike score-verdier for skjelltap på fisk fra AQT4 og KTR på alle undersøkelsesdatoer.



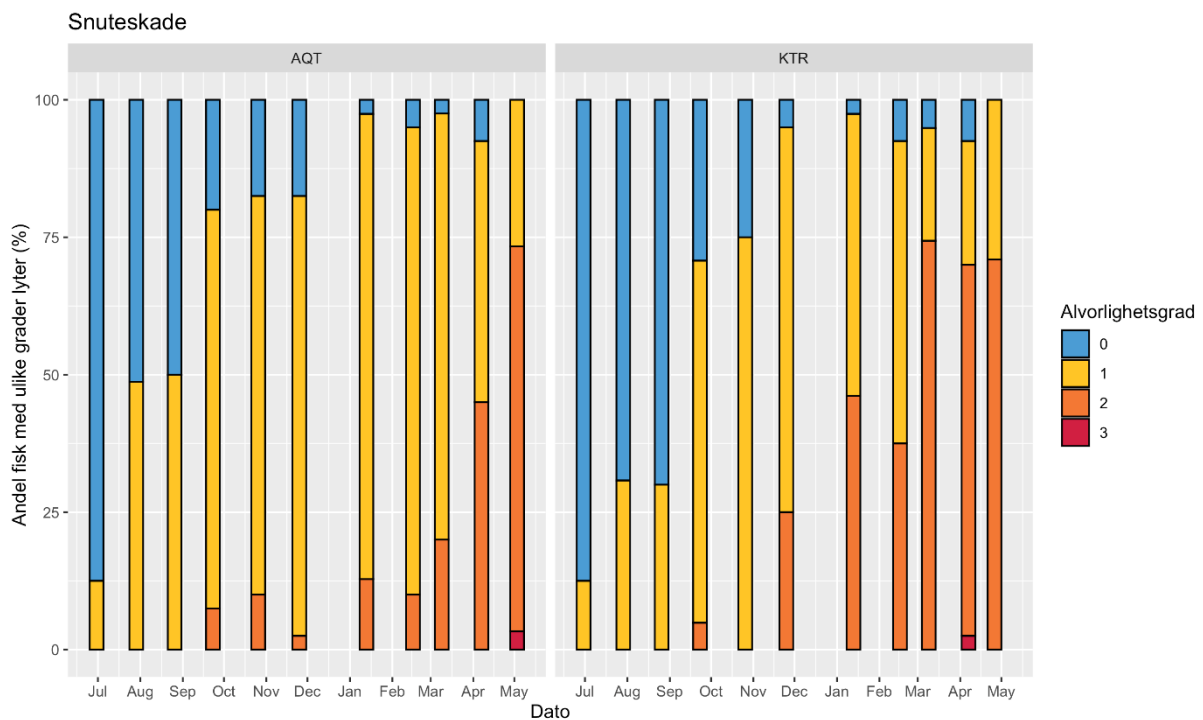
Figur 5.4: Andel fisk (%) med ulike score-verdier for hudblødning på fisk fra AQT4 og KTR på alle undersøkelsesdatoer.



Figur 5.5: Andel fisk (%) med ulike score-verdier for katarakt på fisk fra AQT4 og KTR på alle undersøkelsesdatoer.



Figur 5.6: Andel fisk (%) med ulike score-verdier for sår på fisk fra AQT4 og KTR på alle undersøkelsesdatoer.



Figur 5.7: Andel fisk (%) med ulike score-verdier for snuteskade på fisk fra AQT4 og KTR på alle undersøkelsesdatoer.

Tabell 5.1: Statistisk forskjell mellom fisk fra KTR og AQT4 på OVI scoret på 30 (siste undersøkelse), 39, 40 eller 41 fisker per merd og undersøkelsesdato.

	Kruskal-Wallis (hele perioden)	Pairwise Wilcoxon										
		2020-06	2020-07	2020-08	2020-09	2020-10	2020-11	2021-01	2021-02	2021-03	2021-04	2021-05
Aktiv.rygffinneskade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Helbredet.rygffinneskade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aktiv.brystfinneskade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Helbredet.brystfinneskade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aktiv.halefinneskade	***	-	-	-	-	***	***	***	***	-	-	***
Helbredet.halefinneskade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ryggeformiteter	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Skjelltap	***	-	***	-	-	***	***	***	***	-	-	***
Sår	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-
Hudblødning	***	-	-	-	*	-	***	***	***	-	-	***
Snuteskade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Øyeskade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utstående.øye	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gjellelokkskade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Overkjeve.deformitet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Underkjeve.deformitet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Katarakt	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***

-	p-verdi > 0.05	Ikke signifikant forskjell mellom KTR og AQT
*	0.01 < p-verdi < 0.05	
**	0.001 < p-verdi < 0.01	Signifikant forskjell mellom KTR og AQT
***	p-verdi < 0.001	

5.1.4. Diskusjon

Resultatene fra velferdsscoreingen som er utført i BP3 sammenfaller i stor grad med tidligere funn i BP1 og BP2 samt tetthetsprogrammet. De største forskjellene i score-verdier for OVI er forenlig med skader etter håndtering og avlusing. På grunn av at ingen tilgjengelige brønnbåter har hatt kapasitet til all fisken i en Aquatrazmerd med høyt antall fisk, har det gitt dobbel håndtering av deler av populasjonen ved avlusing i Aquatrazmerder. Først har man vært nødt til å flytte deler av populasjonen til en konvensjonell merd for deretter å avluse flere laster med fisk fra brønnbåten tilbake i den opprinnelige Aquatrazmerden. Det har gitt økt risiko for skader på fisk i Aquatrazmerd ved håndtering. På den andre siden har både BP2 og spesielt BP3 indikert bedre lusebeskyttelse i Aquatrazmerd enn konvensjonell merd, noe som har redusert frekvensen av avlusinger.

Selv om fisken i AQT4 kom ut med høyere score på flere OVI like etter det tidspunktet tettheten var høyest, gir dette ikke grunnlag for å anta at det er høy tetthet som har forårsaket disse utslagene. Tre av de OVIene med signifikant forskjell er de samme som har gitt utslag ved avlusing/håndtering tidligere, den siste (katarakt) er det ut fra samtidig forekomst av keratitt grunn til å tro at har en fysisk forklaring. Den mest nærliggende forklaringen på alle disse utslagene er derfor håndteringen som var kort tid før undersøkelsen.

I sum gir funnene i BP3 ikke grunnlag for å anta at merdskonseptet Aquatraz gir systematiske forskjeller knyttet til operative velferdsindikatorer sammenlignet med konvensjonell drift.

For videre utvikling av Aquatrazkonseptet anbefales det å intensivere fokus på skjerming mot lus for å nå suksesskriteriet om null avlusing fra utsett til slakt, samt å forbedre utformingen av strømsetterne. Samtidig må vannkvaliteten opprettholdes eller forbedres for å gi et godt miljø. Oppnår man dette er det grunn til å tro at man kan oppnå en bedre status på flere OVIer enn det man ofte har i konvensjonell drift med behov for gjentatte avlusinger og håndteringer i løpet av produksjonstida i sjø.

5.2. Dødelighet og dødelighetsårsaker

Av: Torolf Storsul, veterinær, Aqua Kompetanse AS

5.2.1. Formål og bakgrunn

I tetthetsprogrammet er det beskrevet at man skal følge opp dødelighet og dødelighetsårsaker, og i dette kapitlet er både det generelle bildet beskrevet samt at man fokuserer spesielt på perioden med beregnet tetthet over 25 kg/m³. Formålet er å undersøke om det er en tendens til ulik utvikling av dødelighet mellom produksjonssystemene og om man ser et mønster relatert til høy tetthet.

5.2.2. Metodikk

Det legges vekt på grafiske framstillinger av akkumulert dødelighet og registrerte dødelighetsårsaker, med datagrunnlag i det som personell på lokaliteten har registrert i produksjonsstyringssystemet Fishtalk. Akkumulert dødelighet er kalkulert ut som andeler ut fra antallet i en utgangspopulasjon, og ved splittings/sorteringer eller fusjoner av grupper vil man dra med seg veide andeler av historikken inn i den nye gruppen. Flere faktorer bidrar til usikkerhet i kalkulasjonene, det er usikkerhet i antall fisk flyttet inn og ut av grupper, og antallsavvik ved slakt kan ha årsak i flere faktorer på ulike stadier i produksjonen. Akkumulert dødelighet gir likevel et bilde av trender og resultater for de ulike gruppene, og er derfor valgt som metode.

Dødelighetsårsakene som ble registrert av personell på lokaliteten ble gruppert slik at taperfisk («pinner») og dårlig smoltifisert fisk ble samlet i en gruppe, ulike former for håndtering og avlusing ble samlet der det var relevant, likeledes ble ulike sårdiagnoser samlet til en gruppe. Kjønnsmodning ble beholdt som én årsak slik som registrert, mens den andelen fisk hvor det ikke var angitt noen årsak ved registrering er gruppert som uspesifisert.

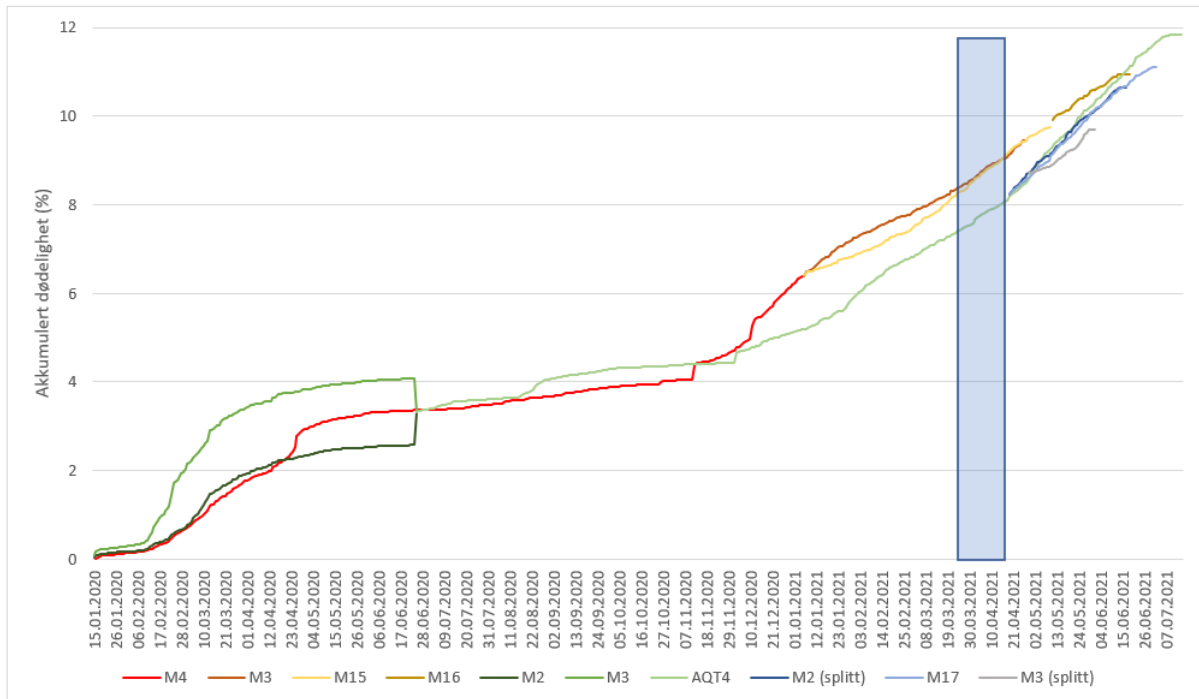
Tetthet er beregnet ut fra registrert snittvekt i produksjonsstyringssystemet Fishtalk og som nevnt andre steder i rapporten er det ut fra registrert avvik på slaktevekten usikkerhet om man har vært over den ordinære tetthetsgrensen på 25 kg/m³ i løpet av produksjonen. I nedenstående grafer er det tatt utgangspunkt i registrerte tall, og selv om man ikke kan være sikker på om tettheten har vært over 25 kg/m³ så vil de markerte områdene indikere de periodene hvor tettheten har vært høyest.

5.2.3. Resultater

5.2.3.1. Akkumulert dødelighet

Akkumulert dødelighet er vist i figur 5.8 for begge grupper, her er hele løpet i sjøfasen tatt med. Fisken som ble flyttet inn i AQT4 i juni 2020 ble satt ut i to konvensjonelle merder i januar 2020, og ved overføring til AQT4 er et veid gjennomsnitt av dødeligheten i de to opprinnelige merdene lagt til grunn. For kontrollmerden ble det ikke gjort noen flytting av fisk i juni, og ved dette tidspunktet som markerer oppstarten av biologiprogrammet så er akkumulert dødelighet svært lik i de to gruppene. Dette gjør at det blir enkelt å danne seg et bilde av likheter og ulikheter i den videre utviklingen.

I AQT4 var det litt forhøyet dødelighet kort tid etter oppstart av biologiprogrammet. Videre utover i produksjonen ble det en lang periode hvor man i AQT4 hadde lik eller lavere dødelighet enn i KTR. Dette inkluderer perioden hvor det var høyest tetthet i AQT4, hvor man ser at vinkelen på grafen er svært lik for de to gruppene. Mot slutten av produksjonen var det høyere dødelighet i AQT4 og de merdene som ble splittet fra AQT4, enn det var i KTR. Dette, sammen med lenger produksjonstid i AQT4, gjorde at akkumulert dødelighet for hele produksjonstida sett under ett var høyere i AQT4 enn i KTR.

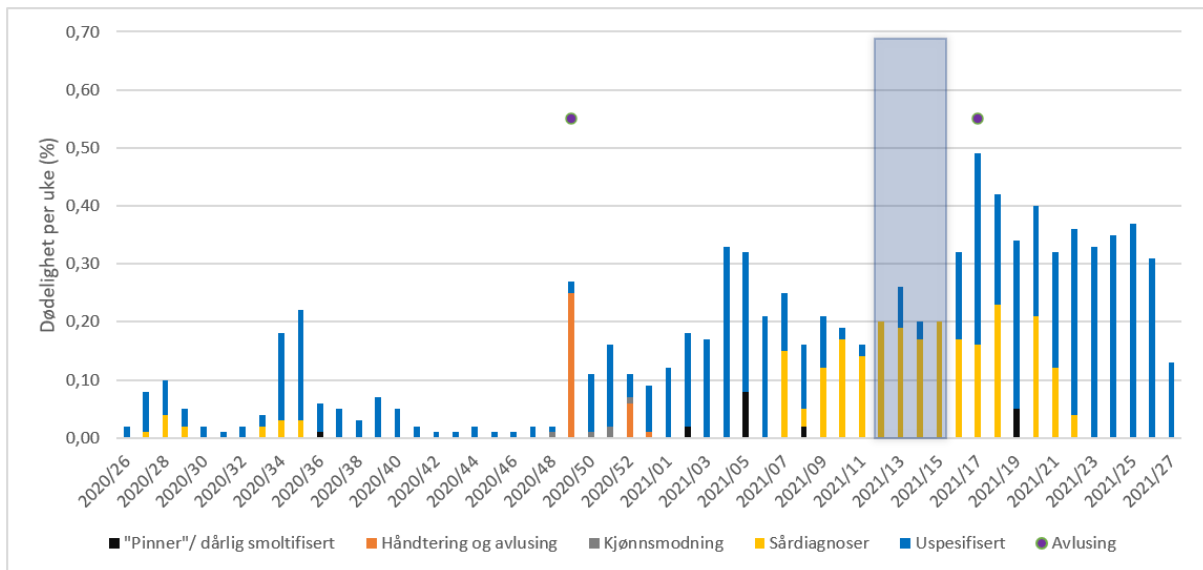


Figur 5.8: Akkumulert dødelighet for AQT4 og KTR inklusive historikk før biologiprogrammets oppstart samt splittings til flere merder i sluttproduksjonen. Fisken som ble satt ut i M2 og M3 ble satt over i AQT4 i juni 2020 (alle i grønne sjatteringer). Fisken fra AQT4 ble våren 2021 splittet til M2, M3 og M17 (blå og grå fargetoner). Fisken som ble satt ut i M4 (rød linje) fungerte som kontrollmerd, og ble senere splittet til M3 og M15 (gul og brun). Fisken i M15 ble senere flyttet til M16 (lys brun). Perioden der tettheten i AQT4, ut fra registreringer i produksjonsstyringssystemet, var over 25 kg/m³ er markert med blå bakgrunn.

5.2.3.2. Registrerte dødelighetsårsaker

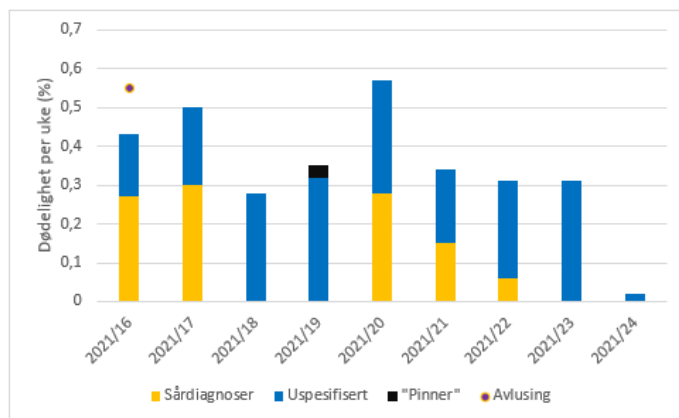
Registrering av dødelighetsårsaker blir en oversikt over det store bildet, det er ikke slik at hver eneste fisk blir grundig vurdert. Likevel gir dette et godt bilde på de store trendene.

I AQT4 (figur 5.9) ble det registrert sårdiagnoser kort tid etter oppstart av biologiprogrammet, her var sårårenes plassering og karakter forenlig med trengekader i forbindelse med overføring av fisk fra konvensjonelle merder til AQT4. Høsten 2020 var dødeligheten lav, og det er først i desember hvor man har den første avlusinga at man får en tydelig økning hvor årsaksregistreringen også peker mot håndtering/avlusing som viktigste forklaringsfaktor. Etter den første avlusinga kommer dødeligheten aldri ned på samme nivå som før avlusinga, og både håndtering/avlusing og sårdiagnoser utgjør betydelige andeler av dødelighetsårsakene. Sårdiagnoser var fortsatt en høy andel av årsaksregistreringen da den andre avlusingen ble utført i slutten av april 2021. Etter denne avlusingen og fram til slakt var dødeligheten på sitt høyeste gjennom produksjonen, og det var sårdiagnoser som utgjorde en betydelig andel de første ukene etter avlusingen mens det de siste ukene fram til slakt ikke var registrert spesifikke dødelighetsårsaker.

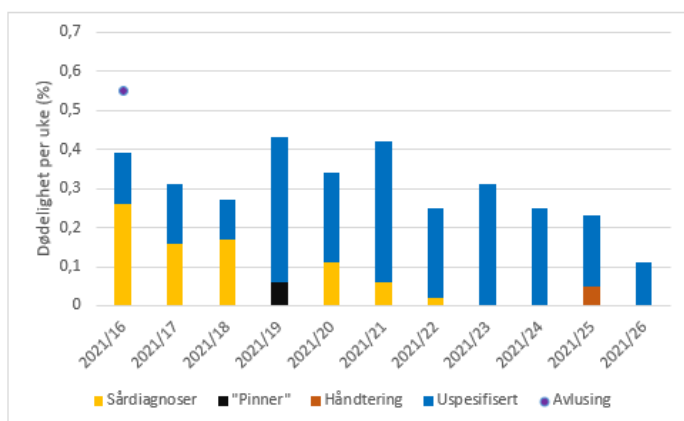


Figur 5.9: Akkumulert dødelighet med årsaksfordeling i AQT4, fordelt på ukenivå. Perioden der tettheten i AQT4, ut fra registreringer i produksjonsstyringssystemet, var over 25 kg/m³ er markert med blå bakgrunn.

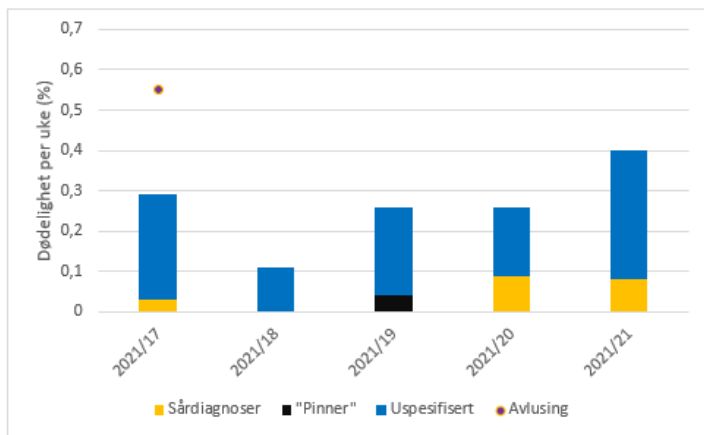
I april 2021 ble det flyttet fisk fra AQT4 til tre andre merder samtidig som det ble gjennomført avlusing, og årsaksregistreringene for disse merdene er oppsummert i figur 5.10 til 5.12. Bildet var ikke ulikt det man så i AQT4, med sårdiagoser som en betydelig andel av de registrerte årsakene.



Figur 5.10: Akkumulert dødelighet med årsaksfordeling i M2 etter splitting fra AQT4, fordelt på ukenivå.



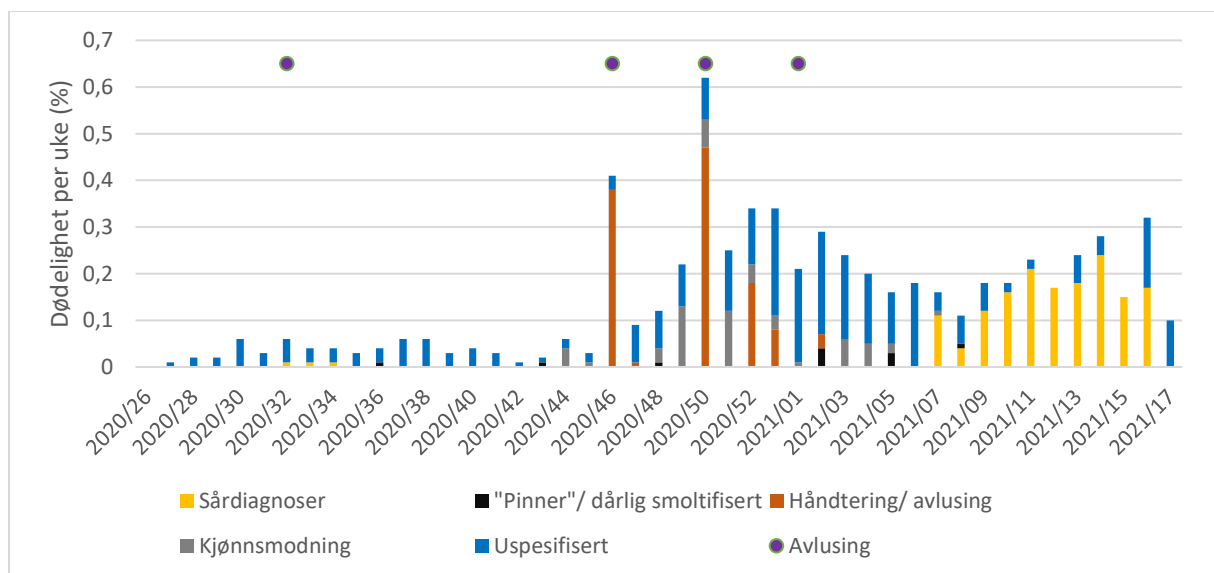
Figur 5.11: Akkumulert dødelighet med årsaksfordeling i M17 etter splitting fra AQT4, fordelt på ukenivå.



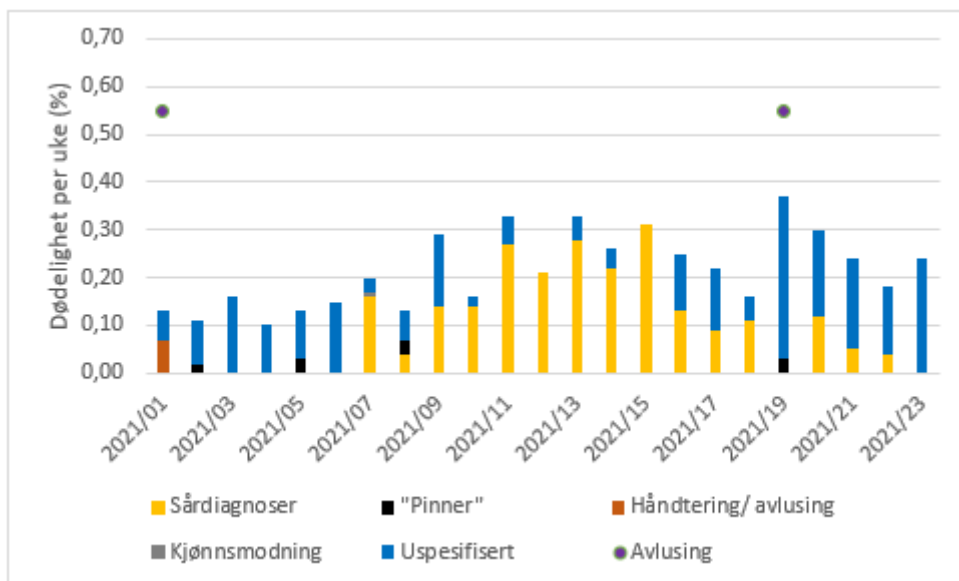
Figur 5.12: Akkumulert dødelighet med årsaksfordeling i M3 etter splitting fra AQT4, fordelt på ukenivå.

I KTR (figur 5.13) var det lav dødelighet gjennom store deler av sommeren og høsten. Avlusingen i august 2020 var fôrbasert og innebar ikke noen håndtering av fisken. Det videre bildet er ikke helt forskjellig fra det man så i AQT4, nemlig ved at den første avlusingen som innebar håndtering gjorde at man fikk en betydelig økning av dødeligheten. Heller ikke i KTR kom man ned på det samme nivået av dødelighet etter denne avlusingen som det man hadde før. Videre ser man en markert dødelighetstopp også ved neste avlusing i desember, mens den siste avlusingen som ble utført ikke var ledsaget av noen klar økning av dødeligheten.

I januar 2021 ble KTR splittet, og for den delen av gruppen som sto i M15 og M16 er dødeligheten fremstilt i figur 5.14. Det store bildet skiller seg ikke vesentlig ut fra de andre gruppene, men det er noe lavere dødelighet på vinteren i denne gruppen.



Figur 5.13: Akkumulert dødelighet med årsaksfordeling, fordelt på ukenivå, M4 fram til uke 1 og deretter M3 etter splitting. Første avlusing er en fôrbasert behandling.



Figur 5.14: Akkumulert dødelighet med årsaksfordeling, fordelt på ukenivå, M15/M16 etter splitting fra M4.

5.2.4. Diskusjon

Det er betydelig grad av samsvar i det store bildet av dødelighet og registrerte dødelighetsårsaker mellom AQT4 og KTR, samt de merder det er splittet til. For begge gruppene gjelder det at man har lav dødelighet fram til den første avlusingen som innebærer håndtering, etter det blir dødeligheten på et vedvarende høyere nivå. Avlusing/håndtering kommer også fram som en ikke ubetydelig dødelighetsårsak, og det kan ikke utelukkes at avlusinger kan ha påvirket dødeligheten i betydelige perioder etter selve hendelsen.

Sårdiagoser har også forårsaket dødelighet i begge grupper, i den typiske risikoperioden ved lave sjøtemperaturer (Sommerset et al. 2021). Håndtering/avlusing er en risikofaktor for sårutvikling, (Sommerset et al. 2021), og det kan ikke utelukkes at forekomsten av sår også i AQT4 og KTR kan være delvis relatert til forutgående håndtering og avlusing.

I perioden med høyest tetthet i AQT4 er dødeligheten på samme nivå som i samme tidsperiode i KTR, vinkelen på grafen for akkumulert dødelighet er omtrent lik i to gruppene i denne perioden. Sårdiagoser dominerer som årsakskategori i AQT4 i perioden med høyest tetthet, men det er også tilsvarende bilde i KTR i samme tidsperiode slik at det er store likheter mellom gruppene også på den måten. Registrert dødelighet og dødelighetsårsaker skiller seg altså ikke negativt ut i perioden med høyest tetthet i AQT4, sammenlignet med andre perioder i samme merd eller sammenlignet med kontrollmerden. I AQT4 er det større dødelighet i perioden etter tettheten har vært høyest. Dette sammenfaller imidlertid med at det var en avlusing som kan ha bidratt til forhøyet dødelighet i etterkant. Det er ikke noe i dette materialet som tydelig peker mot at høy tetthet i AQT4 har gitt forøket dødelighet eller gitt forøket risiko for spesielle dødelighetsårsaker.

5.3. Helseovervåking med vekt på gjellehelse og hjertehelse

Av: Alf S. Dalum, DVM PhD, Nofima

5.3.1. Formål og bakgrunn

Gjelle- og hjertehelse betraktes av mange som en generell utfordring i oppdrett av atlantisk laks. Ulike faktorer antas å ha innvirkning, slik som eksponering mot infeksjose agens, vannkvalitet, fysisk aktivitet med mer. Det er et gjentakende funn at fisk fra enkelte lokaliteter presterer bedre på disse helseparameterne enn fisk fra andre lokaliteter, dette til tross for likt genetisk opphav. Dette tyder på at miljøet har en betydelig innvirkning på fiskens helse generelt. Dette er særlig tydelig for gjellehelse. Gjellvevet er den delen av fisken som er i tette kontakt med omliggende miljø, og vurdering av gjellehelsen benyttes derfor ofte som et biologisk indikatorsystem for effekten vannmiljøet har på fiskehelse. I Aquatraz-konseptet opereres det med et semi-lukket system hvor man har større mulighet til å regulere miljøbetingelsene enn i konvensjonelle merder. Faktorer som inngår er at vannet pumpes opp fra dypere vannsjikt, og strømsetting av vannet kan reguleres for å gi fisken en potensiell treningseffekt.

Hjertehelsen hos atlantisk laks er et område som har fått stadig større oppmerksomhet. Hovedfokus har vært på virusinfeksjonene som gir vevskader i hjerte ved klinisk sykdom, da fortrinnsvis kardiomyopatisyndrom (CMS, forårsaket av piscine myocarditis virus (PMCV)), hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB, forårsaket av piscine reovirus (PRV)), og pankreas disease (PD, forårsaket av salmonid alphavirus (SAV)). For disse sykdommene har vi gode diagnostiske verktøy for å kunne påvise tilstedeværelse av agens. Men det har også vært en gryende bekymring rundt ikke-infeksjose lidelser i næringen. Her har vi kun begrenset kunnskap og verktøy for å avdekke, beskrive og klassifisere sykdommer. Til eksempel finnes ingen standardiserte scoringssystemer for avvikende hjertefasjon. Utvikling av et slik scoringssystem har vært et viktig område i Aquatraz-programmet. Med dette scoringssystemet, samt histologisk vurderinger var det ønskelig å vurdere om det var mulig å påvise forskjell i ulike hjerteparametere i de to merdsystemene.

Basert på tidligere funn i skjelettmuskulatur og levervev i biologiprogram 2, ble det besluttet at disse organene skulle inkluderes som en del av helseovervåkingen i biologiprogram 3, og at resultatene fra denne helseovervåkingen skulle diskuteres i lys av produktkvalitet. Det har i dette biologiprogrammet derfor vært et mål at arbeidspakkene omhandlende helseovervåking og produktkvalitet skulle undersøkt samme fisk.

5.3.2. Materiale og metode

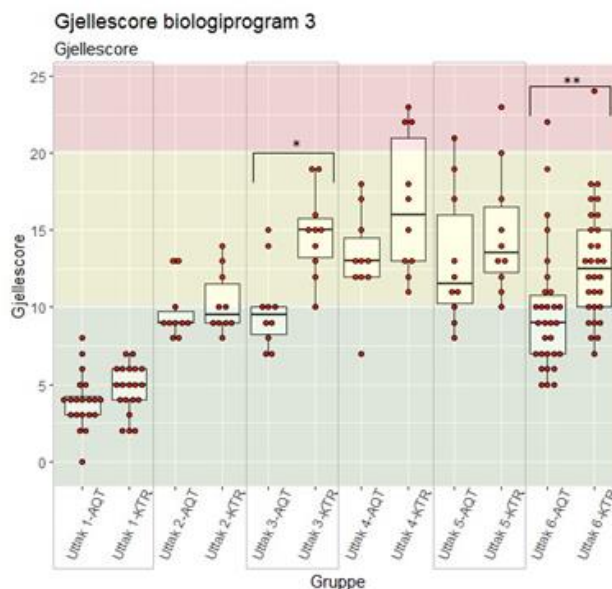
I biologiprogram 3 ble det tatt prøver fra gjelle (hele 2. venstre gjellebue), hjerte (hele hjerte med atrium, ventrikkel, bulbus arteriosus og utløp til ventralaorta), skjelettmuskulatur (på høyde med ryggfinne, inkluderende sidelinje, rød og hvit skjelettmuskulatur på venstre side) og lever for histologisk vurdering. I tillegg ble muskelvev fra produktkvalitet vurdert. Fisken ble avlivet så raskt som praktisk mulig etter uttak. Vevene ble overført til 10 % fosfatbufret formalin straks etter avliving, og prøvene ble oppbevart i kjemikalieskap ved romtemperatur fram til videre prøveoppbevaring. Samtlige hjerter ble vurdert makroskopisk og fotografert i fire plan, samt veid (både helt med atrium, ventrikkel og bulbus arteriosus intakt, og med kun ventrikkel). Også lever ble veid inn. Videre ble vevet framført, snittet og montert etter standard prosedyrer, og hematoxylin-eosin ble benyttet som fargeteknikk. Snittene ble scannet og vurdert digitalt ved hjelp av Hamamatsu Photonics K.K.NDP.view2 Version 2.8.24.

I påfølgende tekst tilsvare uttak 1 uttaksdato 30.06.2020 (både AQT og KTR), uttak 2 uttaksdato 26.08.2020 (både AQT og KTR), uttak 3 uttaksdato 26.10.2020 (både AQT og KTR), uttak 4 uttaksdato 13.01.2021 (både AQT og KTR), uttak 5 uttaksdato 09.03.2021 (både AQT og KTR), og uttak 6 uttaksdato 26.04.2021 for KTR og 03.05.2021 for AQT.

5.3.3. Resultater

5.3.3.1. Gjellehelse

Gjellehelse ble vurdert histologisk både kvalitativt og semikvantitativ ved hjelp av en gjellescore. I gjellescoren vurderes grad av vevsforandringer delt opp etter de ulike vevsresponsene som er kjent å kunne oppstå i gjellevev på følgende måte: score 0 (ingen forandringer), score 1 (forandringer i opp mot 10 % av snittflaten), score 2 (forandringer mellom 10-50 % av snittflaten), score 3 (forandringer i over 50 % av snittflaten). Videre deles kategoriene i to grupper: gruppe 1 (forandringer som antas å være av mindre betydning for gjellefunksjon og som vanligvis leges raskt, og gruppe 2 (forandringer som antas å ha større betydning for gjellefunksjon eller kroppsfunksjon og som tar lengre tid å leges – vektet med en faktor på 2). Gjellescoren beregnes som summen av score for hver kategori (og eventuelt vektet for gruppe 2). I den endelige gjellescoren anses score opp mot 10 som milde forandringer, over 10 til og med 20 som moderate forandringer, over 20 som omfattende forandringer.



Figur 5.15: Grafisk framstilling av histologisk gjellescore fordelt på merdtype og tidspunkt for uttak. Grønt skravert område indikerer vevsforandringer av mild karakter, gult område vevsforandringer av moderat karakter, og rødt område vevsforandringer av omfattende karakter. Lik gjellescore hos fisk fra AQT og KTR ved oppstart tyder på at gruppene var sammenlignbare ved oppstart av forsøk. Det sees en tydelig trend med høyere gjellescore hos fisk fra KTR sammenlignet med AQT, og denne var statistisk signifikant ved uttak 3 og 6 (tosidig T-test for hvert uttakstidspunkt: * $p < 0.05$, ** $p < 0.001$).

Ved uttak 1, uttak 2, uttak 4 og uttak 5 var det ingen signifikant forskjell i gjellehelsen mellom AQT og KTR vurdert ut fra gjellescoringen. Ved uttak 3 og uttak 6 ble det imidlertid påvist en signifikant lavere score i AQT sammenlignet med KTR (figur 5.15), noe som indikerer en bedre gjellehelse i AQT ved disse tidspunktene. Likevel var det en gjennomgående trend med lavere score for AQT sammenlignet med KTR for samtlige uttak.

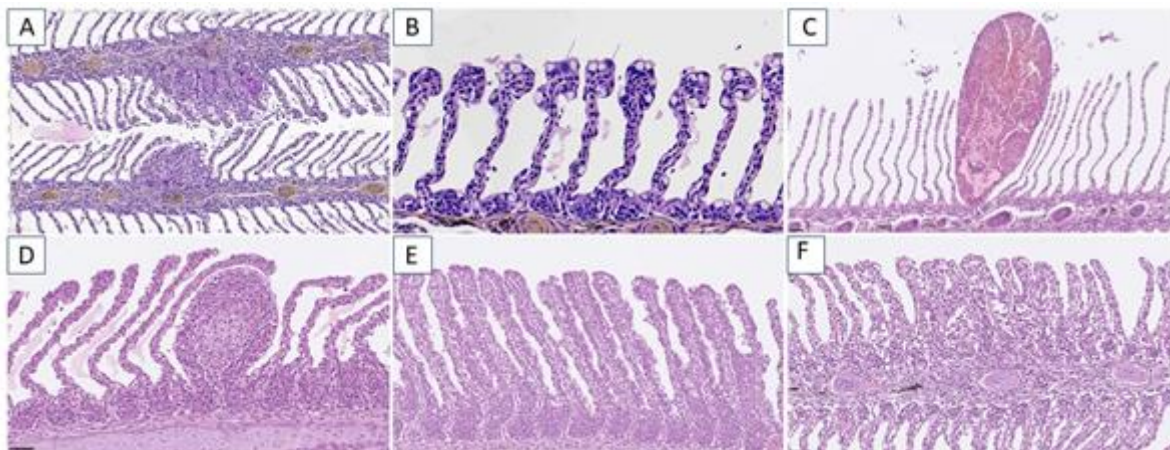
Det ble observert enkelte mer eller mindre spesifikke forandringer ved de ulike uttakene som beskrevet under:

- UTTAK 1: Det ble observert vevsforandringer i gjellene som gir mistanke om partikkelskader (figur 6.1A), i to av 20 gjeller fra AQT og seks av 20 gjeller fra KTR. Videre ble det påvist skader som mistenkes å kunne tilskrives lakselus i en av gjellene fra KTR.
- UTTAK 2: Det ble observert epitelocyster i gjellenes lameller (figur 5.16 B), i to av ti gjeller fra AQT (sparsom forekomst), og åtte av ti gjeller fra KTR (sparsom forekomst).

- UTTAK 3: Det ble observert sparsom (tre gjeller) til moderat (fem gjeller) forekomst av epiteliocyster i åtte av ti gjeller fra KTR. I dette uttaket ble det ikke observert epiteliocyster i gjellene fra AQT.
- UTTAK 4: Det ble observert sparsom (tre gjeller) til moderat (tre gjeller) forekomst av epiteliocyster i seks av ti gjeller fra AQT. I dette uttaket ble det ikke observert epiteliocyster i gjellene fra KTR.
- UTTAK 5: Det ble observert epiteliocyster i gjellenes lameller, i en av ti gjeller fra AQT (sparsom forekomst), og en av ti gjeller fra KTR (sparsom forekomst).
- UTTAK 6: Det ble observert sparsom forekomst av epiteliocyster i en av 30 gjeller fra KTR. I dette uttaket ble det ikke observert epiteliocyster i gjellene fra AQT.

Utover dette ble det ikke påvist andre vevsforandringer i gjellene som kunne relateres til, eller som ga mistanke om noe, spesifikt årsaksforhold.

Generelt sett følger utviklingen av gjellehelsen gjennom produksjonszyklusen samme trend som observert i tidligere biologiprogram, med en innledende god gjellehelse ved oppstart, en gradvis økning i gjellescore i vinterperioden, etterfulgt av en avtagende gjellescore mot sommeren. Årsaken til denne dynamikken er ikke kjent, men det er en generell oppfatning at gjellehelsen har en tendens til å bli utfordret på høsten ved høye temperaturer i sjøen, for så å få en gradvis bedring ved avtagende vanntemperatur. I forutgående biologiprogram, biologiprogram 2, hvor ble det påvist dels betydelige mengder av parasitten *Ichthyobodo* sp. («Costia») i både AQT og KTR. Dette ble ikke påvist i dette biologiprogrammet, og bortsett fra noe forekomst av epiteliocyster var det ikke mulig å påvise infeksjøs agens. Det anses derfor at forholdene i dette programmet har vært gunstig for å vurdere den generelle effekten av AQT og KTR på gjellehelsen.

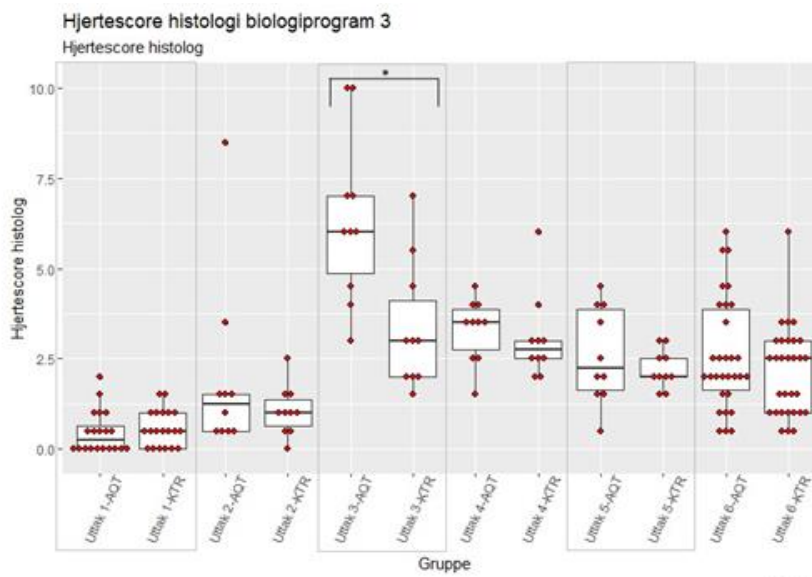


Figur 5.16: Eksempler på ulike typer histopatologiske forandringer som ble observert i de undersøkte gjellene. A) Gjelle fra uttak 1 KTR (F18) med vevsskader i motstående filamenter (epitelial hyperplasi og sirkulasjonsforstyrrelser) som mistenkes å kunne tilskrives partikkelskader, B) gjelle fra uttak 2 KTR (F21) hvor piler peker mot epiteliocyster i distale deler av lameller, C) Gjelle fra uttak 6 AQT (F4) med fersk, lukket lamellær blødning, D) Gjelle fra uttak 3 AQT (F16) med arvev etter lukket lamellær blødning, E) gjelle fra uttak 3 KTR (F11) med eksempel på epitelial lamellær hyperplasi og hypertrofi, F) Gjelle fra uttak 5 AQT (F30) med diffus betennelse i filament med spredning til lameller.

5.3.3.2. Hjertehelse

Histologisk var det ved uttak 1 og 2 kun sparsom forekomst av avvikende vevsforandringer i det undersøkte materialet, dette fortrinnsvis i form av betennelse (endomyokarditt) i både hjertes forkammer (atrium) og den spongiøse delen av ventrikkelen, samt ulik grad av betennelse sammen med fibrose og/ eller fettavleiring i ytre hjertehinne (epikarditt) (figur 5.18A-E). Distribusjonen av vevsforandringer samsvarer mest med det man ser i tidlig fase av CMS, men det understrekes at vevsforandringene var så beskjedne at forandringer forårsaket av andre agens ikke med sikkerhet kan utelukkes. Likevel tyder dette på at fisken kan ha vært infisert av virus som gir betennelse i hjerte

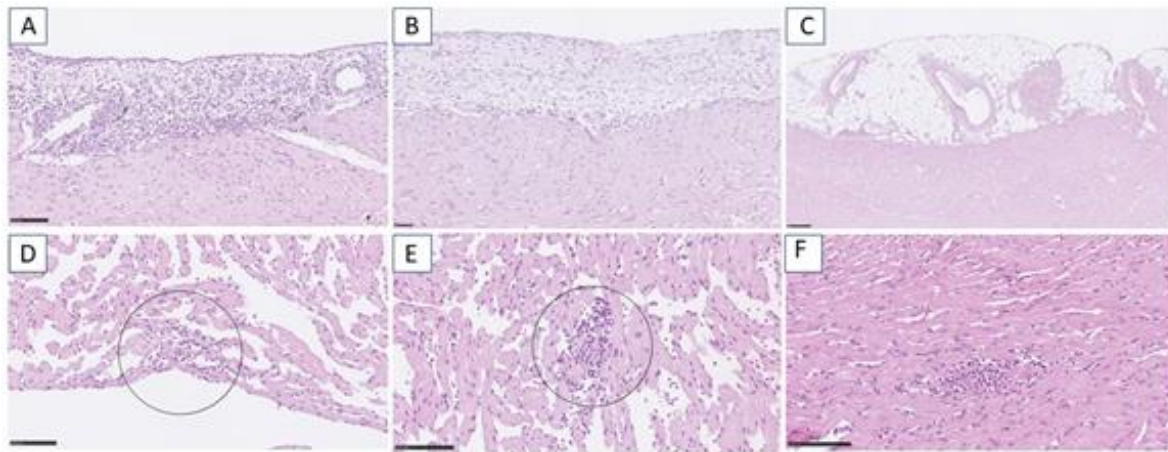
allerede ved oppstart av forsøket. Ved uttak 1 var forekomsten av vevsforandringer relativt lik, noe som tyder på at fiskegruppene var sammenlignbare ved oppstart av forsøket. Fra uttak 2 og utover var det en tydelig trend at den histologiske hjertescoren var høyere for AQT enn KTR, for uttak 3 var denne trenden statistisk signifikant (figur 5.17). Det var en tydelig topp i histologisk hjertescore ved uttak 3, før hjertescore igjen hadde en avtagende trend, men uten å nå samme lave nivå som observert ved uttak 1 og 2.



Figur 5.17: Grafisk framstilling av histologisk hjertescore fordelt på merdtype og tidspunkt for uttak. Lik hjertescore hos fisk fra AQT og KTR ved oppstart tyder på at gruppene var sammenlignbare ved oppstart av forsøk. Det sees en trend med høyere hjertescore hos fisk fra AQT sammenlignet med KTR, og denne var statistisk signifikant ved uttak 3 (tosidig T-test for hvert uttakstidspunkt: * $p < 0.05$).

Hovedtrekk i histologisk avvik i hjertevev ved de ulike uttakene:

- UTTAK 1: Gjennomgående sparsomme forandringer fortrinnsvis i form av betennelse (endomyokarditt) i både hjertes forkammer (atrium) (figur 5.18D) og den spongiøse delen av ventrikkelen (figur 5.18E), samt ulik grad av betennelse sammen med fibrose og/ eller fettavleiring i ytre hjertehinne (epikarditt).
- UTTAK 2: Sparsomme til milde forandringer, med betennelse i alle lag av hjerte (pankarditt: betennelse i atrium og spongiosum (endomyokarditt), ventrikkelenes kompakte lag (myokarditt, figur 5.18F) og epikarditt). Sammenlignet var det mer omfattende forandringer i hjertets spongiøse lag sammenlignet med det kompakte laget.
- UTTAK 3: Milde til moderate forandringer, med betennelse i alle lag av hjerte (pankarditt). Ved dette uttaket var det lik grad av forandringer i hjertets spongiøse og kompakte lag.
- UTTAK 4: Sparsomme til milde forandringer, med betennelse i alle lag av hjerte (pankarditt) men med mest dominerende forandringer i spongiøs del av ventrikkelen i begge grupper.
- UTTAK 5: Som for uttak 4.
- UTTAK 6: Som for uttak 4.



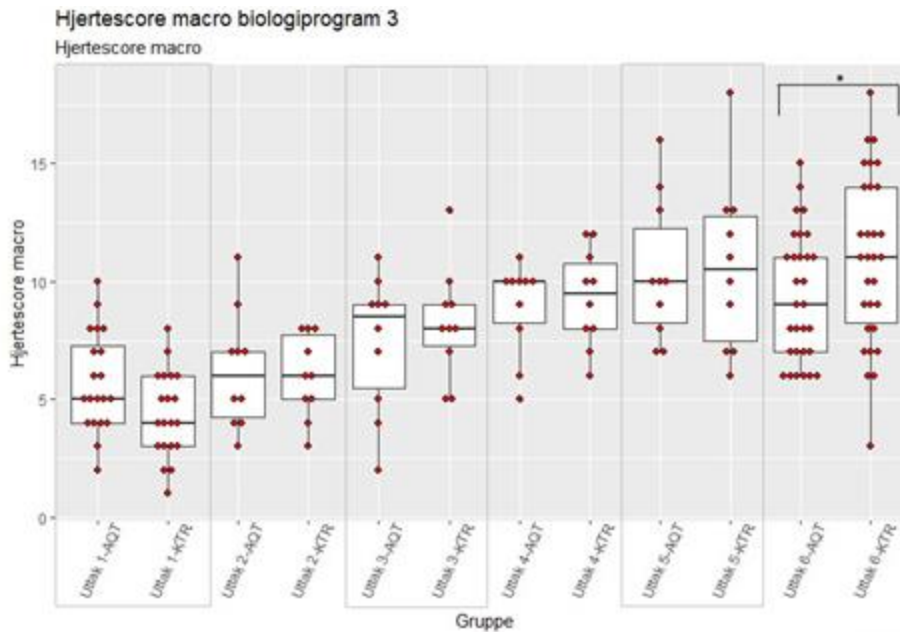
Figur 5.18: Eksempler på ulike typer histopatologiske forandringer som ble observert i de undersøkte hjertene. A) Hjerne fra uttak 6 KTR (F1) med cellerik epikarditt, B) hjerte fra uttak 5 KTR (F25) hvor det sees epikarditt med overveiende fibrose, C) hjerte fra uttak 5 KTR (F35) hvor det sees epikarditt med overveiende fettinfiltrasjon, D) hjerte fra uttak 6 KTR (F1) med fokal betennelse (endomyokarditt) i forkammer (atrium), E) hjerte fra uttak 6 KTR (F15) med fokal betennelse (endomyokarditt) i spongios del av ventrikkel, F) hjerte fra uttak 6 AQT (F15) med fokal betennelse (myokarditt) i kompakt del av ventrikkel.

Scoringssystemet for makroskopisk vurdering av grad av avvikende hjertemorfologi er fortsatt under utarbeidelse, men samme scoringssystem og gradering har blitt benyttet gjennom hele forsøket. Det understrekes også at vurderingen gjennomføres manuelt, noe som betyr at det må forventes en viss grad av subjektivitet i vurderingene. Det er derfor en målsetning å utvikle og ta i bruk en modell for maskinlesing for en mer konsekvent vurdering. I forbindelse med vurderingen har samtlige hjarter blitt fotografert i fire plan, og disse bildene er arkivert for eventuell senere re-analyser. Parameterne som inngår i nåværende modell, er som følger:

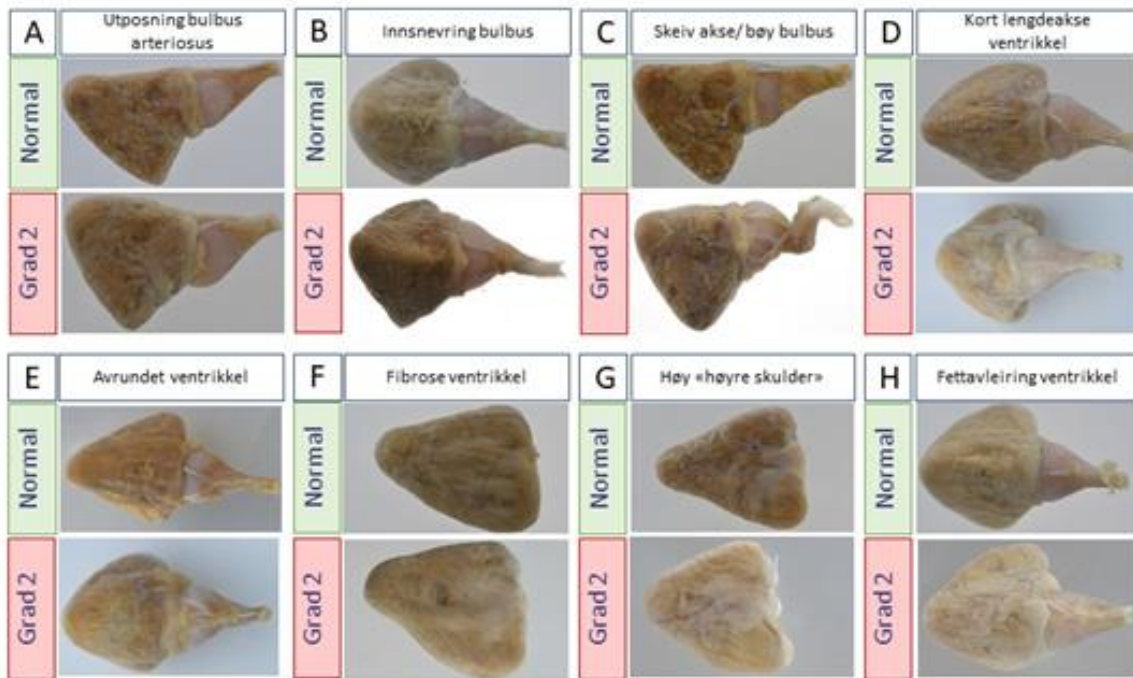
Tabell 5.2: Scoringssystemet som inngår i modell for makroskopisk vurdering av hjerte. Hver parameter scores som 0 (ingen forandringer), 1 (mild grad av avvik) eller 2 (moderat til omfattende grad av avvik), og makroskopisk score beregnes som summen av score av samtlige parametere.

Vurdering atrium	Vurdering ventrikkel	Vurdering arteriosus	bulbus	Vurdering koronarkar
Forstørret atrium / dilatasjon	Høy høyre «skulder»/ lav venstre «skulder» ventrikkel	Utposning bulbus		Avvik koronarkar
	Kort lengdeakse ventrikkel	Innsnevring bulbus		
	Kort høydeakse ventrikkel	Feilstilt bulbus		
	Avrundet ventrikkel	Skeiv akse/ bøyy bulbus		
	Innsøkk venstre side ventrikkel	Fettavleiringer bulbus		
	Innsøkk høyre side ventrikkel	Hypoplasi bulbus		
	Innsøkk dorsalflate			
	Buet ventralrygg ventrikkel			
	Fettavleiringer ventrikkel			
	Melanisering ventrikkel			
	Fibrose ventrikkel			

Det var liten forskjell i grad av avvik i hjertefasong i uttak 1-5, og det var ingen tydelig trend i det undersøkte materialet (figur 5.19). I det siste uttaket var det høyere score i hjerter fra fisk fra KTR sammenlignet med AQT (figur 5.19). I uttak 6 var det særlig parameterne som angikk bulbus arteriosus (utposning bulbus (figur 5.20A), innsnevring bulbus (figur 5.20B), skeiv akse/ bøy bulbus (figur 5.20C)) som utartet seg, men det var også høyere forekomst av avvik i ventrikkel (kort lengdeakse ventrikkel, figur 5.20D). Sammenlignet for samtlige uttak uavhengig av merdsystem så var utposning av bulbus, skei akse/ bøy bulbus, avrundet ventrikkel (figur 5.20E), fibrose i dorsale flate av ventrikkel (septotransversal flate, figur 5.20F), høy «høyre skulder» (figur 5.20G) og fettavleiring i bulbus og ventrikkel (figur 5.20H) mest dominerende type avvik.



Figur 5.19: Grafisk framstilling av makroskopisk hjertescore fordelt på merdtype og tidspunkt for uttak. Fram til siste uttak var det liten forskjell (ikke statistisk signifikant) i morfologiske avvik mellom AQT og KTR. I siste uttak ble det funnet en signifikant forskjell (tosidig T-test for hvert uttakstidspunkt: * $p < 0.05$).



Figur 5.20: Eksempler på avvikende hjertemorfologi. Scoringen ble foretatt manuelt på formalinfikserte hjerter.

5.3.3.3. Skjelettmuskel og lever

Totalt sett var skjelettmuskel fra fisk fra AQT mer preget av betennelse ved uttak 4 enn fisk fra KTR. Ved de andre uttakene var grad av vevsforandringer som betennelse (fokal, multifokal til diffus (figur 5.21A)), degenerasjon (bilde 5.21B) og nekroser (fokal (figur 5.21C) til multifokal) av muskelceller relativt lik mellom AQT og KTR. Sammenholdt med funn i hjerte tolkes forandringer som typisk sees ved hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB). Et alternativt infeksjøs årsaksforhold som kan gi lignende forandringer, er infeksjon med salmonid alpha-virus (SAV) forårsakende sykdommen pancreas disease (PD). Pankreasvev ble ikke undersøkt, men hjerteforandringer framstår ikke som typisk for denne sykdommen. Det ble heller ikke rapportert om PD fra den generelle helseovervåkingen som ble gjennomført på lokaliteten. Grad av betennelse i skjelettmuskulatur ble ikke forsøkt kvantifisert, men er kun beskrevet kvalitativt. Det var en svak økning i forekomst av betennelse og nekrose fra uttak 2 og ut perioden; ved uttak 6 betegnes forandringene i skjelettmuskulatur totalt sett som milde.



Figur 5.21: Eksempler på ulike typer histopatologiske forandringer som ble observert i skjelettmuskulatur. A) Diffus betennelse (myositt) i rød (anaerob) skjelettmuskulatur fra uttak 4 AQT (F2), B) degenerasjon av enkeltmuskelcelle (myocyt) i hvit (anaerob) skjelettmuskulatur fra uttak 4 AQT (F5), hvor myofibriller har gått i oppløsning men hvor kjernene fortsatt framstår som intakt, C) nekrose av enkeltmuskelcelle (myocyt) i hvit (anaerob) skjelettmuskulatur fra uttak 5 KTR (F21), med oppløsning av myofibriller og vandring av kjernefragmenter sentralt.

Levervev ble vurdert kvalitativt, og i tillegg ble det utarbeidet et graderingssystem for grad av vakuolisering (fettavleiring, glykogenavleiring eller annet) av leverceller (hepatocytter) på bakgrunn av tidligere biologiprogram:

- GRAD 0: Ingen eller kun smådråpet* vakuolisering, der areal av vakuoler er mindre enn areal av øvrig cytoplasma, og hvor overordnet cellestruktur framstår som intakt.
- GRAD 1: Smådråpet vakuolisering hvor areal av vakuoler overgår areal av øvrig cytoplasma, men hvor overordnet cellestruktur framstår som intakt.
- GRAD 2: Stor**- og smådråpet vakuolisering hvor areal av vakuoler overgår areal av øvrig cytoplasma, men hvor overordnet cellestruktur framstår som intakt.
- GRAD 3: Stor- og smådråpet vakuolisering hvor cellestruktur utflytende (overgang fra polygonale til avrundede hepatocytter), men hvor det fortsatt er mulig å skille mellom cellene (intakt vevsstruktur)
- GRAD 4: Så omfattende grad av fettvakuolisering at vevsstruktur er utvisket

*Smådråpet – størrelse på vakuole mindre enn cellekjerne

**Stordråpet – størrelse på vakuole like stor eller større enn cellekjerne

Generelt sett var det få forandringer i det undersøkte vevet, og den mest dominerende forekomsten for avvik var betennelse rundt galleganger (pericholangitt, figur 5.22A) og dels blodkar (perivaskulitt) men med kun sparsom forekomst. Slike forandringer sees ofte som et uspesifikt tegn på infeksjøs sykdom, og kan muligens relateres til HSMB/ CMS. Det var også svært sparsom forekomst av vakuolisering i dette materialet, og med enkelte unntak ble grad av vakuolisering anslått til grad 0.



Figur 5.22: Histologi fra lever. A) Eksempel på betennelse rundt gallegang (pericholangitt) fra uttak 4 AQT (F14), B) lever uten anmerkninger fra uttak 5 AQT (F25) som klassifiseres som vakuolisering av leverceller (hepatocytter) av grad 0, C) lever fra uttak 5 AQT (F26) som klassifiseres som vakuolisering av leverceller (hepatocytter) av grad 1, men ellers uten anmerkninger.

5.3.4. Oppsummering

Oppsummert så presterer fisken fra AQT bedre på gjellehelse enn fisk fra KTR vurdert ut fra histologien. Dette samsvarer med funn fra de to foregående biologi-programmene. Årsaken til dette framgikk ikke av undersøkelsene, men det kan tenkes at inntak av vann fra dypere vannlag medfører mindre grad av uheldig eksponering av gjellene mot skadelige komponenter. Om dette kan tilskrives infeksjøse agens, ikke-infeksjøse agens, eller begge deler, kan ikke bestemmes ut fra de gjennomførte analysene. Ut fra histologien kunne det se ut som om smittepresset fra infeksjøse agens var lavt, og programmet vurderes derfor som gunstig for å sammenligne den generelle effekten av innvirkningen av de ulike produksjonssystemene på gjellehelsen. Når det gjelder hjertehelse så kan det tyde på at fisken allerede var infisert da forsøket startet opp. Fra uttak 2 og utover var det en gjennomgående trend med høyere histologisk hjertescore i fisk fra AQT sammenlignet med KTR. Årsaken til dette er usikker, men det kan

ikke utelukkes at dette kan relateres til smittedynamikken innad i merdsystemene. Histologiske forandringer i skjelettmuskulatur antas å kunne settes i sammenheng med observerte forandringer i hjerte, det vil si HSMB. Leverhelsen ble generelt vurdert som god ut fra histologien, og det var ingen histologiske forskjeller mellom de to systemene.

5.4. Helsekontroller

Av: Marte A. Fjær, fiskehelsebiolog, Midt-Norsk Havbruk.

Det ble gjennomført månedlige helsekontroller på lokaliteten gjennom hele utsettet, med lovpålagte og risikobaserte prøveuttak, samt merdinspeksjon og obduksjon av egnede fisk.

Fiskevelferden har i produksjonsperioden vært helhetlig god og utsettet ble vurdert til å ha en akseptabel fiskehelse. Første smolten ankom i midten av januar 2020, og lokaliteten var ferdig slaktet i løpet av september andre år i sjø.

To ulike fiskegrupper på lokaliteten som har prestert noenlunde likt og hatt samme tendens mtp. overlevelseshastighet og vekst, men den ene fiskegruppen har ligget noe over den andre grunnet utsettsrelatert dødelighet knyttet til bakteriell sårinfeksjon og vaksineindusert bukhinnebetennelse. Ved oppstart av V20-generasjonen på Årsetfjorden var det totalt ti merder. M2 og M3 ble overflyttet i Aquatrazmerden midt på sommeren og ved årsskiftet ble fire merder fra lokalitet Årsetfjorden flyttet til lokalitet Humulen.

Helsekontrollene på lokaliteten har gitt et helhetlig godt inntrykk av utsettet, selv om det har vært utfordringer som i hovedsak er knyttet opp mot nedsatt sirkulasjon-, og gjellehelse samt bakterielle sårinfeksjoner. Fisken fikk relativt tidlig diagnose med positiv påvisning av hjerte- og skjelettmuskelbetennelse, samt kardiomyopatisyndrom ved sluttfasen av produksjonssyklusen (RT-PCR og histologi) og sårinfeksjon med vintersår.

Obduksjonen som ble utført under de månedlige besøkene viste funn som var forenlig med nedsatt sirkulasjon og vintersår. Fisken var preget av sårinfeksjon og sårproblematikk i de kaldeste kalendermånedene, samt nedsatt gjellehelse på høsten da det er naturlig med svingninger i O₂-nivå og økt tilstedeværelse av gjelleagens (Rozas-Serri 2019). Det har vært perioder med lave oksygenivåer, noe som kan ha hatt en negativ påvirkning på fiskens helsetilstand mtp. miljø, tilvekst og appetitt. (Remen et al. 2012)

Føringsstrategien har fokusert på «skvett»-utfôringen, noe som har hatt et godt resultat. Alle de konvensjonelle merdene har gått på tradisjonelt fôr, mens det har blitt benyttet flytefôr på Aquatrazmerden i store deler av produksjonsperioden. Innholdet i fôret er akkurat det samme, bare at flytefôret er tilsatt mer luft, slik at pelleten flyter og blir liggende på vannoverflaten.

Rensefisk (ikke i AQT4 og kontrollmerd), luseskjørt og midt-norskring har blitt benyttet som tiltak mot lakselus gjennom utsettet, samt oralbehandling med medisinfôr og ikke-medikamentelle metoder (tabell 5.3 og 5.4). Lokaliteten har hatt en gjennomgående god kontroll på lusesituasjonen, med god reduksjon i totalantall lus og akseptabel fiskevelferd etter gjennomføring av behandlingene.

På grunn av ulike tekniske forutsetninger på Aquatraz kontra de konvensjonelle merdene, medførte dette ulike avlusningsmetoder ved behandling. Fisken som tilhørte de konvensjonelle merdene ble behandlet med Optilicer, ferskvann/wellfighter eller Hydrolicer ombord i brønnbåt, samt med Hydrolicer på avlusningslekter. Alle behandlingene som skulle utføres på Aquatrazmerden måtte gjennomføres med brønnbåt, i tillegg måtte fisken i merda deles inn i totalt tre laster, dette på grunn av at biomassen var for høy for kapasiteten hos brønnbåten.

Tabell 5.3: Oversikt over avlusinger på lokalitet Årsetfjorden på V20-utsettet.

Uke	Avlusningsmetode	Merd
32/2020	Medisinert fôr	M4, M5, M6, M12, M15, M16, M17, M18
46/2020	Hydrolicer	M4, M5, M6, M12, M15, M16, M17, M18
49/2020	Optilicer	Aquatraz
50/2020	Hydrolicer	M4, M5, M12, M16, M17, M18
01/2020	Ferskvann/Wellfighter	M3, M4, M5, M6, M12, M15
16/2021	Optilicer	M2, M17
17/2021	Ferskvann	Aquatraz
19/2021	Hydrolicer	M12, M16, M18
25/2021	Hydrolicer	M12, M18
26/2021	Hydrolicer	M6, M12
29/2021	Hydrolicer	M5, M12, M18

Tabell 5.4: Antall avlusinger på ulke merder.

Merd	Antall behandlinger
AQT4	2
M4 (KTR)	5
M5	4
M17	7
M18	7

6. Lakselus

Av: Sturla Romstad, veterinær, eget foretak, og Yngve Lystad, teknisk sjef terapi, Pharmaq.

6.1. Formål og bakgrunn

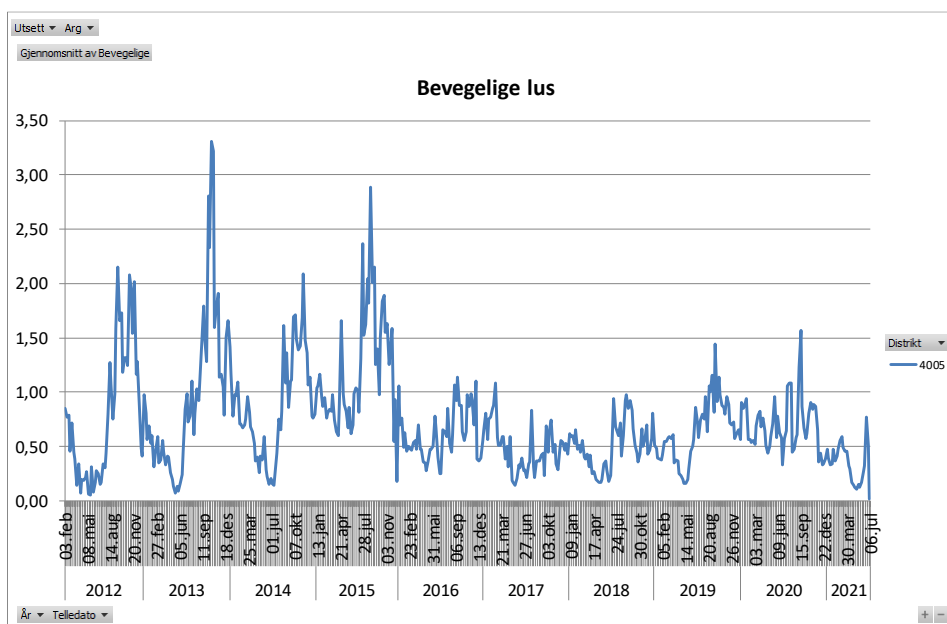
Et observatørstudium av lakselus er utført som en del av biologiprogrammet, for å undersøke følgende påstand: Det er ingen signifikant forskjell i påslagsfrekvens og utvikling av lus i en Aquatrazmerd (AQT4) i forhold til en tradisjonell oppdrettsmerd (KTR).

Forsøket ble startet i juni 2020. Da ble alle fiskene i to konvensjonelle merder overført til AQT4. Fisken i merd 4 ble stående, dette ble kontrollmerd (KTR). Videre flyttinger og splittings er beskrevet i innledningen.

6.2. Områdeinformasjon

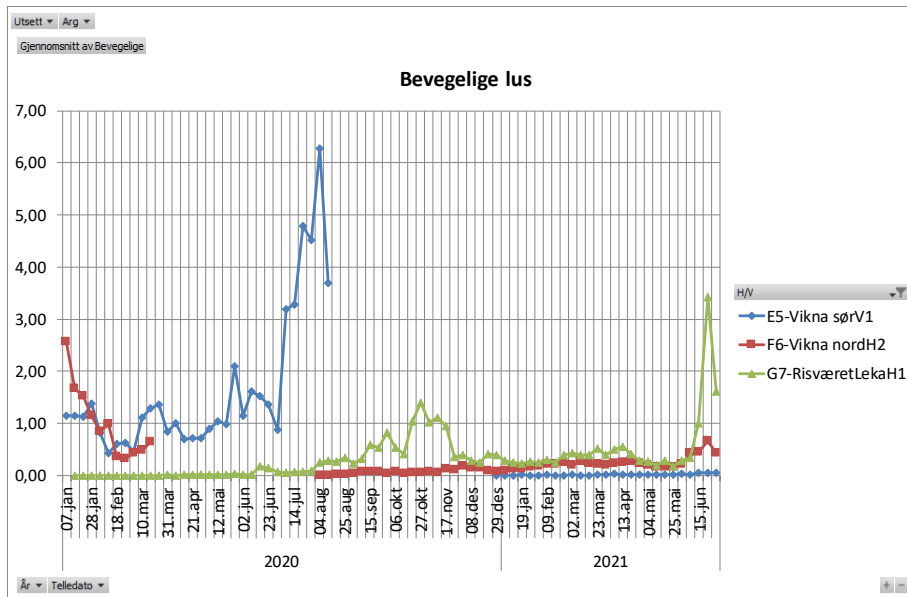
Bevegelige lus er valgt som grunnlag for vurderinger av lusesituasjonen i området og på lokalitetene fordi vi antar at tallene for bevegelige lus er mest korrekte.

Lusenivået i PO7 er i hovedsak den samme som tidligere år (figur 6.1). Det er mulig at lusesituasjonen likevel var mer utfordrende høsten 2020, men på grunn av tidlig utslaktning av problemlokaliteter har lusetallene i produksjonsområdet likevel vært lave.

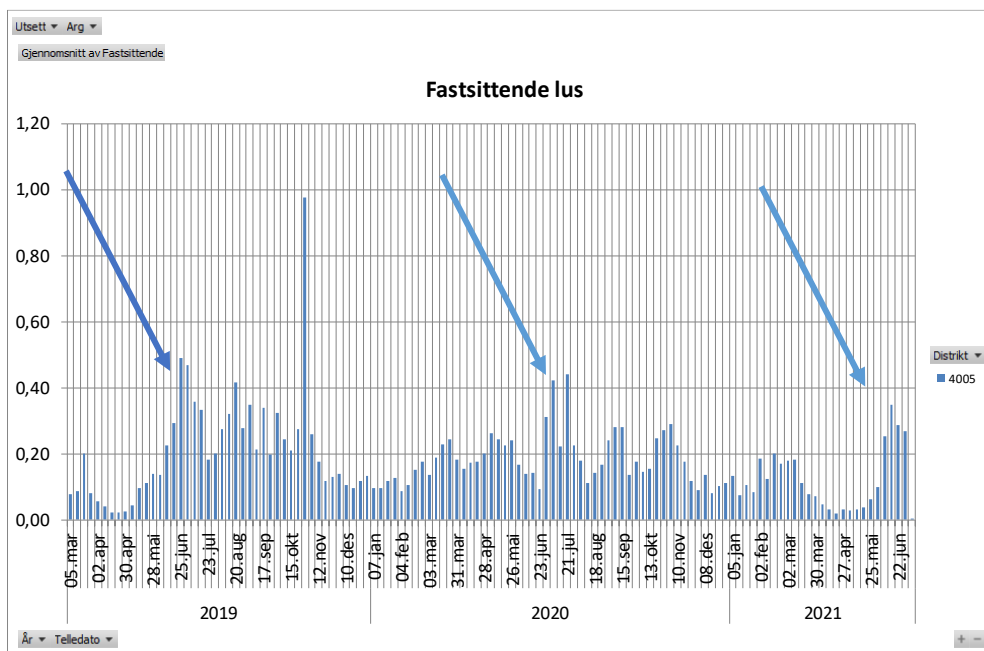


Figur 6.1: Oversikt over utvikling av bevegelige lus i hele produksjonsområde 7.

I sonen «Risværet Leka» har lusesituasjonen gjennom høstsesongen vært mer utfordrende enn forrige utsett (vår 2018). Dette kan skyldes at fisken ble satt ut så tidlig som i januar 2020 og at fisken har vært lengre eksponert for lusesmitte. «Risværet Leka» er likevel en av sonene med best kontroll (figur 6.2.).



Figur 6.2: Oversikt over lusenivået i sonen (Risværet LekaH1) med Årsetfjorden. Sonene Vikna sør og Vikna nord er nabo-soner.

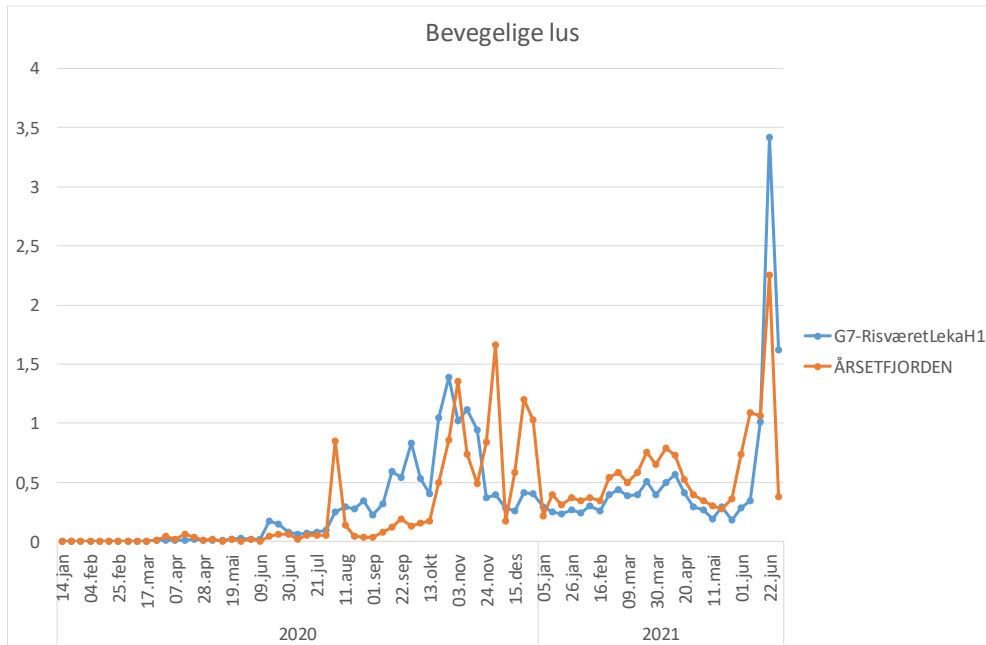


Figur 6.3: Oversikt over utvikling av fastsittende lus i PO7. Som vanlig en tydelig topp andre halvdel av juni

Det er som vanlig en tydelig økning i lusesmitte i andre halvdel av juni (figur 6.3) og de fleste lokalitetene i sonen er behandlet med Slice i perioden fra midten av juni til midten av juli. Økningen er uventet i forhold til antall kjønnsmodne lus på denne tida av året.

6.3. Lusesituasjonen på lokaliteten sammenlignet med sonen

Årsetfjorden har en tydelig topp med bevegelige tidlig i august (figur 6.4). Noe lavere tall enn sonen i september. I resten av perioden er det omtrent samme lusepress.



Figur 6.4: Sammenligning mellom lokalitet Årsetfjorden og sone Risværet Leka.

6.4. Lusesituasjonen i AQT4 og KTR

Overføring til AQT4 og KTR har skjedd tidligere enn ved tidligere utsett. I BP1 Eiterfjorden og BP2 Kyrøyene ble fisken overført til Aquatrazmerd og kontrollmerd i oktober/november. I BP3 Årsetfjorden ble fisken overført i slutten av juni.

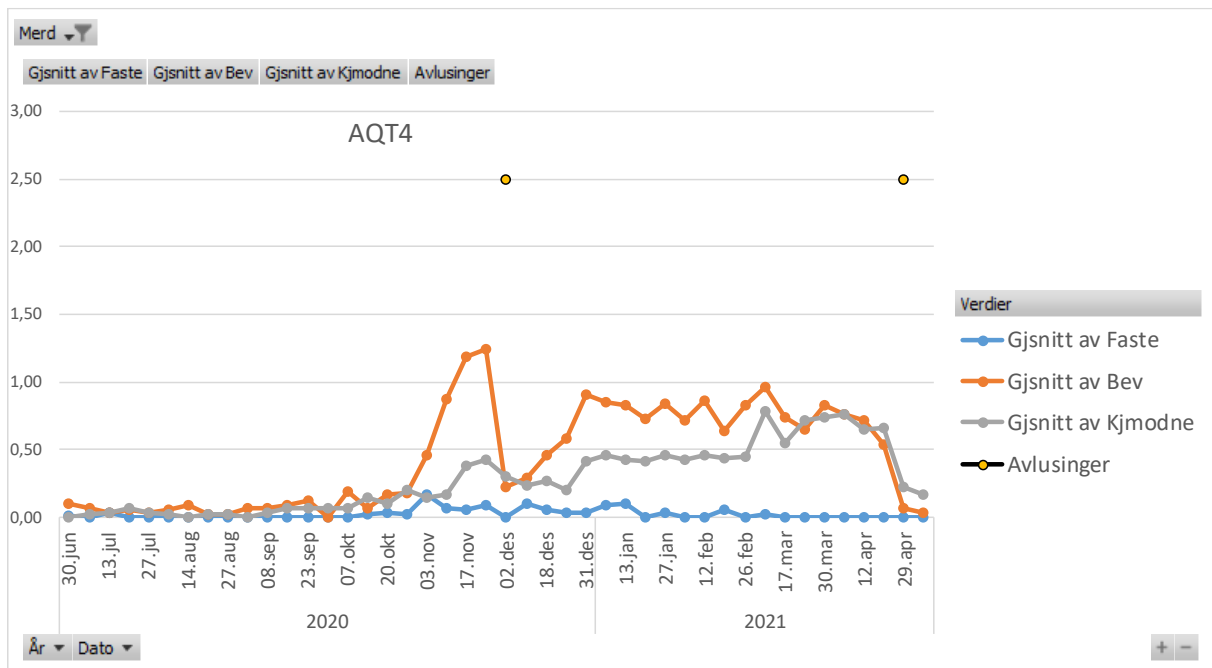
Tabell 6.1: Avlusinger og skjørtbruk i AQT4 og KTR på Årsetfjorden.

Periode	Merd	Tiltak	Metode
02.-08.08.2020	KTR (M4)	Avlusing	Slice
12.10.2020	KTR (M4)	Fjernet hele skjørtet	
12.11.2020:	KTR (M4)	Avlusing	Hydrolicer
11.12.2020:	KTR (M4)	Avlusing	Hydrolicer
06.01.2021:	KTR (M4)	Avlusing	Ferskvann/ Wellfigther
16.10.2020:	AQT4	Fjernet skjørt fra to vinduer	
02.12.2020:	AQT4	Avlusing	Optilicer
28.04.2021	AQT4	Avlusing	Hydrolicer

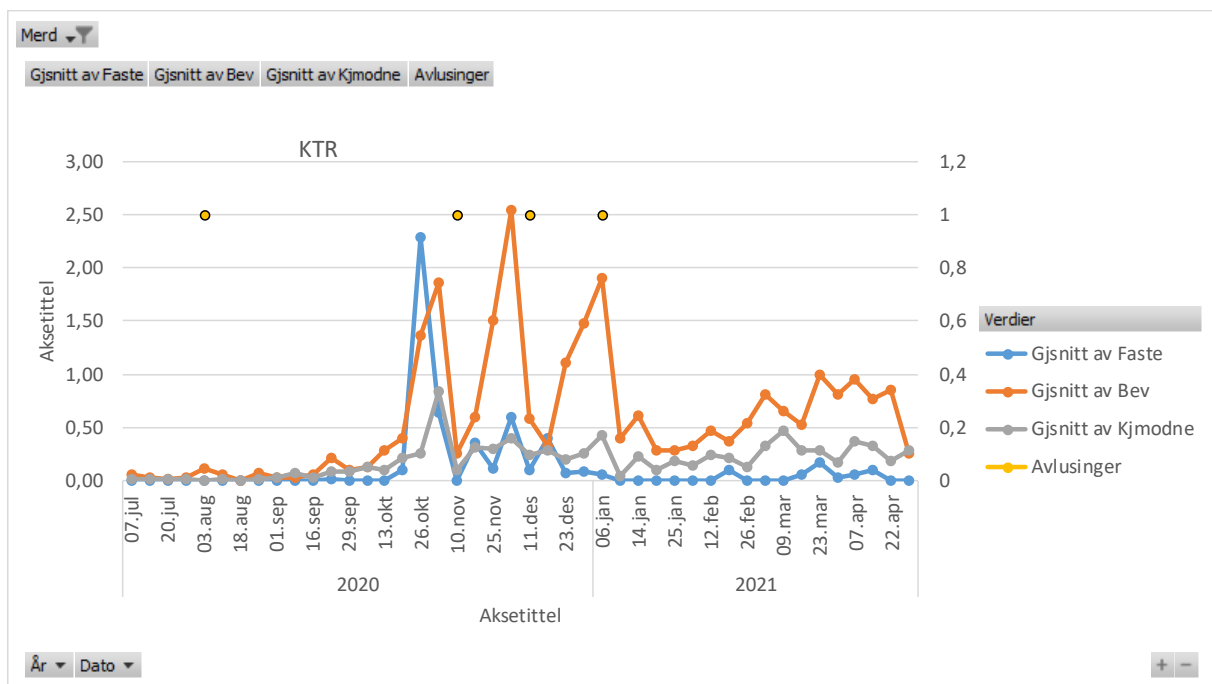
På grunn av lave oksygen-nivå på lokaliteten ble hele skjørtet fjernet på kontrollmerd 12.oktober og skjørtene fjernet fra to vinduer på Aquatraz 16. oktober (tabell 6.1).

Det er en tydelig sammenheng med fjerning av skjørt og utvikling av lus i begge merder.

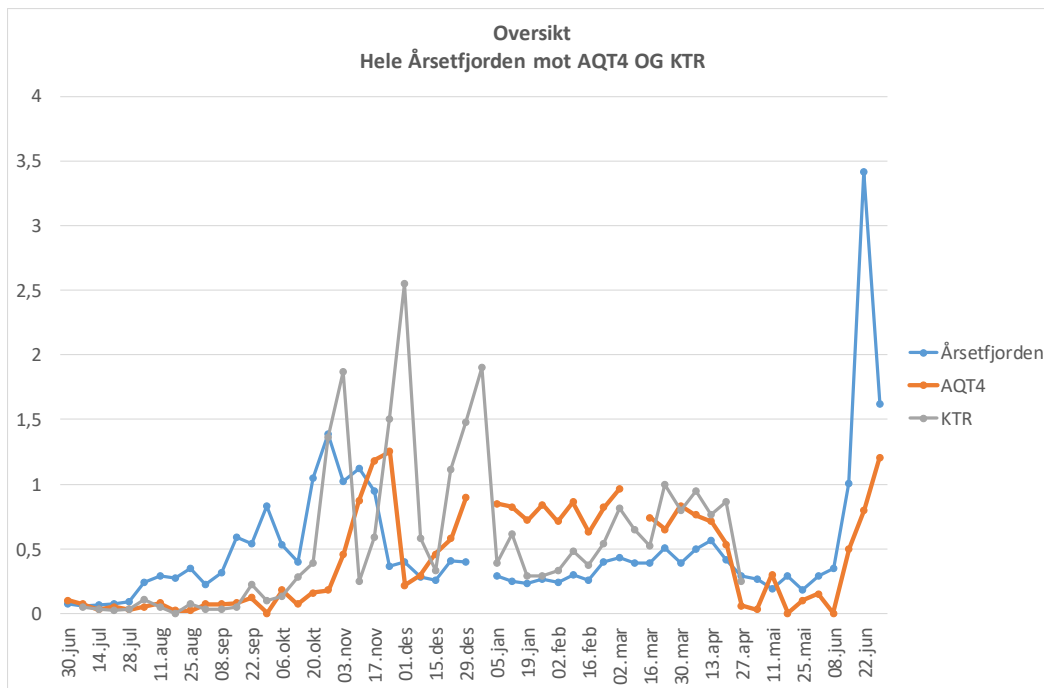
AQT4 har hatt to avlusinger mens kontrollmerden har hatt fire avlusinger (tabell 6.1). Forskjellen mellom merdene er tydelig (figur 6.5, 6.6 og 6.7) og det er grunn til å tro at den økede dybde på skjerming i AQT4 har gitt god effekt.



Figur 6.5: Lusetall for AQT4 i perioden fra utsett til 1. mai. Kurven viser rask økning av bevegelige etter at skjørtet ble fjernet fra to vinduer den 16. oktober.



Figur 6.6: Lusetall for KTR i perioden fra utsett til 1. mai. Kurven viser rask økning av bevegelige etter at skjørtet ble fjernet den 12. oktober og gjentagende lusepåslag seinere.



Figur 6.7: Lusetall for AQT4 og KTR i perioden fra utsett til 22. juni. Kurven viser en betydelig forsinkelse på luseutvikling i forhold til hele lokaliteten både på AQT4 og KTR. KTR ble slaktet i slutten på april.

6.5. Diskusjon

Overføring til AQT4 og KTR ble gjennomført på et tidligere tidspunkt i produksjonsperioden enn ved de to forrige forsøksperiodene. Dette har gitt et bedre grunnlag for å vurdere effekten av Aquatraz-konseptet. Det hadde vært enda bedre med utsett i Aquatraz før smittetoppen av lus kommer i midten av juni (se figur 6.3). Målet må være å sette smolten direkte i Aquatrazmerden og ikke som nå eksponere den for lus før den kommer i test-merda.

Dybden på skjørtet er økt i forhold til tidligere merder. Skjørtet på AQT4 går ned til 18 meter mot 8 meter på de foregående generasjonene. Dypere skjerming har hatt god effekt.

Dersom luseeffekten skal beholdes må imidlertid utfordringen med lave oksygenivåer på høsten løses. Aquatraz-merden må i størst mulig grad stå i kontakt med dypvatn og unngå kontakt med overflatevann og påfølgende lusepåslag.

Siste generasjon viser at mens de andre merdene på lokaliteten er sterkt påvirket av overflatemiljøet og episoder med høy smitte av copepoditter har vannet i Aquatraz-merden en annen dynamikk og påvirkes mer av dypvannet på lokaliteten. Kontrollmerden har vanlig skjørt og kommer i en mellomstilling mellom Aquatraz og de åpne merdene.

Kurvene viser at eksponeringen fra slutten på juni fører til stigende antall bevegelige lus allerede i starten på august. Først i begynnelsen på november skjer det samme i AQT4 og da etter at lusetallet på lokaliteten har blitt høyt. Det vil si en forsinkelse på 3 måneder. Tidligere Aquatraz-generasjoner har også hatt en forsinket utvikling av lus, men med betydelig kortere effekt.

Det er grunn til å tro at en lokalitet bestående av bare Aquatraz- merder kan gi en svært gunstig utvikling av lakselus.

Det har vært en del usikkerhet om det blir raskere utvikling av lakselus når det først kommer kjønnsmodne lus inn i Aquatraz-merda. Vi har imidlertid ingen observasjoner som tilsier dette. Det er ikke noen raskere utvikling inne i ei Aquatraz-merd enn i de andre merdene på lokaliteten selv om

antall kjønnsmodne lus kommer over 0,2. Tvert imot kan det se ut som en behandling har lengre varighet i Aquatraz-merden enn i åpne merder. Dette kan tyde på at egg og larver blir fjernet fra merda før de blir infektive på grunn av den effektive vannsirkulasjonen.

7. Adferd

Av: Peder A. Jansen, Henning Andre Urke, Jo Arve Alfredsen, Torstein Kristensen, INAQ

7.1. Formål og bakgrunn

Formålet er å skaffe ny, detaljert kunnskap om fiskens adferd i AQT4 ved bruk av akustisk telemetri.

To underpunkt skal belyses:

- 1: Adferd i merd, fordeling av fisken i vanlig drift
- 2: Adferd ved strømsetting

MNH har fått utviklingstillatelser til sitt Aquatraz-konsept og er nå i en utviklingsfase for å kunne dokumentere og videreutvikle generasjon 3 av konseptet (AQT4). Adferd til laks under varierende miljø- og driftsforhold (strømsetting, utfôring, trenging og pumping) er en kunnskapsmessig kritisk komponent for dokumentasjon av dette nye produksjonssystemet. Det er også viktig å kjenne til hvordan ulike miljøvariabler som strømforhold, lys (kunstig og naturlig), temperatur, og ikke minst tiltak for å øke gjennomstrømningen i merden, påvirker adferden til laksen.

Detaljert kunnskap om adferd hos laks dokumenteres gjennom å merke et utvalg av fisken med akustiske sendere med integrert dybdesensor. Ved utplassering av flere akustiske mottakere forskjellige steder i merden, vil en sikre detaljert sporing av fiskens bevegelser. Det er i 2018-2020 gjort en tilsvarende dokumentasjon av AQT1 og AQT3. Det gjøres nå opp en status på forsøkene som er utført i AQT4 frem til 7. mai 2021.

7.2. Metodikk

På lokalitet Årsetfjorden ble det 2. juli 2020 merket totalt 36 laks med akustiske sensormerker i AQT4 og i kontrollmerd (KTR, merd 4, 135 meter i diameter). Merkingen skjedde i henhold til standard kirurgiprotokoll (Urke m. fl. 2013) og med tillatelse fra Forsøksdyrutvalget (FOTS ID 23281, 20/56113). Det akustiske merket var av typen D-LP13 (diameter 13mm, lengde 31 mm, vekt 5.6 g i vann, produsert av Thelma Biotel AS) som er programmert til å sende fiskens unike ID sammen med nåværende svømmedybde (oppløsning 0.2 meter), med 20-60 sek utsendings/oppdateringsintervall.

Det ble etter merkingen registrert et betydelig bortfall av forsøksfisk i AQT4, der totalt 11 merkede individ ble registrert gjennom dødfiskhåndteringen og merkene ble plukket ut. Ny merking skjedde 8. januar 2021. Da ble det merket 15 nye forsøksfisk i AQT 4 (Tabell 7.1), der 11 «gamle» merker og fire nye ble tatt i bruk (ID 200-203).

Tabell 7.1: Oversikt akustisk merket fisk i AQT4 og KTR 2020-2021.

Merd	N	Gj. vekt (g)	Gj. lengde (cm)	Dato	Frekvens KHz	ID
AQT4	18	525	38,7	2.7.2020	68,70 ,72	10-15, 22-27,34-39
KTR	18	570	40,6	2.7.2020	69, 71,73	16-21, 28-33,40-45
AQT4	15	3612	63,7	8.1.2021	68,70, 72	12, 22, 24-27, 34-36,38,39,200-203

Hver merd ble utstyrt med tre akustiske mottakere (Thelma Biotel TBR700RT) og overflatemodul for distribuert tidssynkronisering basert på GPS-signaler (Hassan m.fl. 2019). Alle data ble lagret og nøyaktig tidsstemplet i hver mottaker slik at fiskens posisjon i merden kunne beregnes og analyseres både underveis og etter forsøket var ferdig.

7.3. Resultater og diskusjon

7.3.1. Datafangst

Oppsummert er det i materialet fra AQT4 fem akustisk merkede laks som har levd gjennom våren, der to laks (ID 14 og 23) stammer fra oppstarten i juli 2020 (tabell 7.2):

- ID 14: data til 19. april (merket 2. juli 2020)
- ID 23: data til 7. mai (merket 2. juli 2020)
- ID 36: data til 19. april (merket 8. januar 2021)
- ID 200: data til 7. mai (merket 8. januar 2021)
- ID 203: data til 28. april (merket 8. januar 2021)

Av 15 laks som ble merket i januar 2021, er det tre laks som gir datafangst frem til splitting/utslakt (ID 36, 200 og 203; Tabell 10.2). Bortfallet av merket laks er også betydelig etter re-merkingen som ble gjort den 8. januar. Av 15 laks forsvinner/dør totalt ni laks (fem i januar, to i februar, og to i mars). Datafangsten blir også begrenset av at tre av de gjenbrukte sendere (ID 34_2/35_3 og 39_2) ikke gir signal etter re-merkingen.

Under forsøkene på Kyrøyene i AQT3 ble det registrert utfordringer med støy på enkeltmottakere som gjorde posisjonsberegningen mer usikre. I AQT4 har en brukt kraftige sendere og en ser at dette problemet nå ikke er til stede. I AQT4 er det registrert noe støy i frekvensområdet 69-73 kHz, men dette er likt for alle mottakerne.

I KTR var totalt 16 av 18 merkede aktive frem til splitting/utslakting (tabell 7.2). Fisken i KTR ble flyttet i forbindelse med avlusing den 12. november og kom tilbake i riktig merd den 11. desember. Neste flytting skjedde 6. januar da fisken ble splittet til M3 og M15, der M3 ble etablert som ny KTR (lik type merd som M4). Denne splittingen førte til at 8 av 16 merket laks ble overført til merd uten mottakere (M15) noe som naturlig nok bidro til vesentlig redusert datafangst fra disse fiskene. Disse fiskene er angitt som «splittfisk» i tabell 7.2.

Det ble i etterkant av merkingen i juli 2020 registrert en betydelig kontrast i dødelighet mellom AQT4 og KTR. AQT4 hadde et frafall på 15 av 18 merkede fisk i løpet av de første fjorten dagene etter merking, mens KTR hadde ingen dødelighet i samme periode og ellers svært lav dødelighet over hele forsøksperioden. Hendelsen er beskrevet i et notat datert 10. august 2020 og innmeldt til Mattilsynet. Videre ble det levert inn en endringssøknad og det ble gitt tillatelse til ny merking i AQT4. Re-merkingen ble utført den 8. januar 2021.

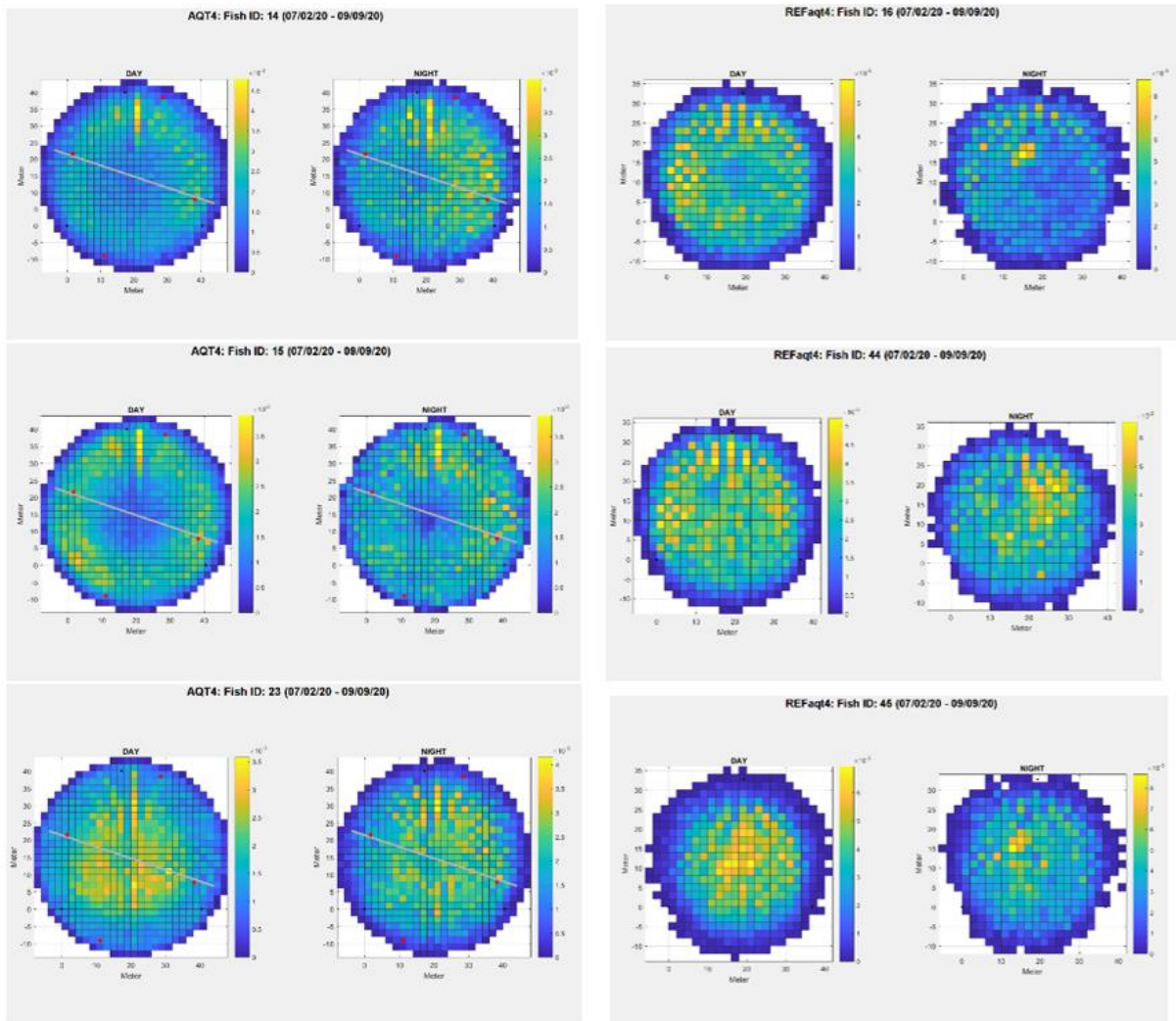
Tabell 7.2: Oversikt over skjebner til akustisk merket laks i AQT4 (blå tabell) og KTR (grå tabell). Lengde og vekt er målt ved merketidspunkt.

merd	merkedato	lengde (cm)	vekt (g)	ID	merknad
AQT4	02.07.2020	34	390	10	Dør 17. juli. Bunnsignal
AQT4	02.07.2020	43	647	11	Dør 7. juli.
AQT4	02.07.2020	32	432	12	Dør 10. juli Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	37	425	13	Dør 12. juli. Bunnsignal
AQT4	02.07.2020	37	374	14	Forsvinner 19. april, ellers fint signal.
AQT4	02.07.2020	43	555	15	Forsvinner 22. desember
AQT4	02.07.2020	44	620	22	Dør 11. juli. Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	38	464	23	Fullt signal til 7. mai.
AQT4	02.07.2020	37	415	24	Dør 10. juli. Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	42	680	25	Dør 9. juli. Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	37	495	26	Dør 10. juli. Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	38	572	27	Dør 9. juli. Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	39	508	34	Dør 8 juli. Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	39	525	35	Dør 10 juli. Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	41	710	36	Dør 8. juli. Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	37	520	37	Dør 8 juli.
AQT4	02.07.2020	40	590	38	Dør 9. juli. Dødfiskhov
AQT4	02.07.2020	40	536	39	Dør 7. juli. Dødfiskhov
AQT4	08.01.2021	58	3520	12_2	Dør 3. mars.
AQT4	08.01.2021	64	3410	22_2	Dør 21. januar. .
AQT4	08.01.2021	60	2830	24_2	Dør/forsvinner 31. januar.
AQT4	08.01.2021	64	3850	25_2	Dør 21. januar
AQT4	08.01.2021	62	3170	26_2	Dør/forsvinner 31. januar.
AQT4	08.01.2021	63	3650	27_2	Dør 1. mars
AQT4	08.01.2021	69	4190	34_2	Ikke gode signal etter merking
AQT4	08.01.2021	65	3780	35_2	Ikke gode signal etter merking
AQT4	08.01.2021	64	3820	36_2	Forsvinner 19. april, ellers fint signal.
AQT4	08.01.2021	64	3640	38_2	Dør 19. januar.
AQT4	08.01.2021	69	4330	39_2	Ikke signal etter merking
AQT4	08.01.2021	66	4130	200	Fullt signal til 7. mai.
AQT4	08.01.2021	66	3910	201	Dør 16. februar.
AQT4	08.01.2021	62	3140	202	Dør 23. februar. Bunnsignal.
AQT4	08.01.2021	60	2810	203	Fullt signal til 28. april.

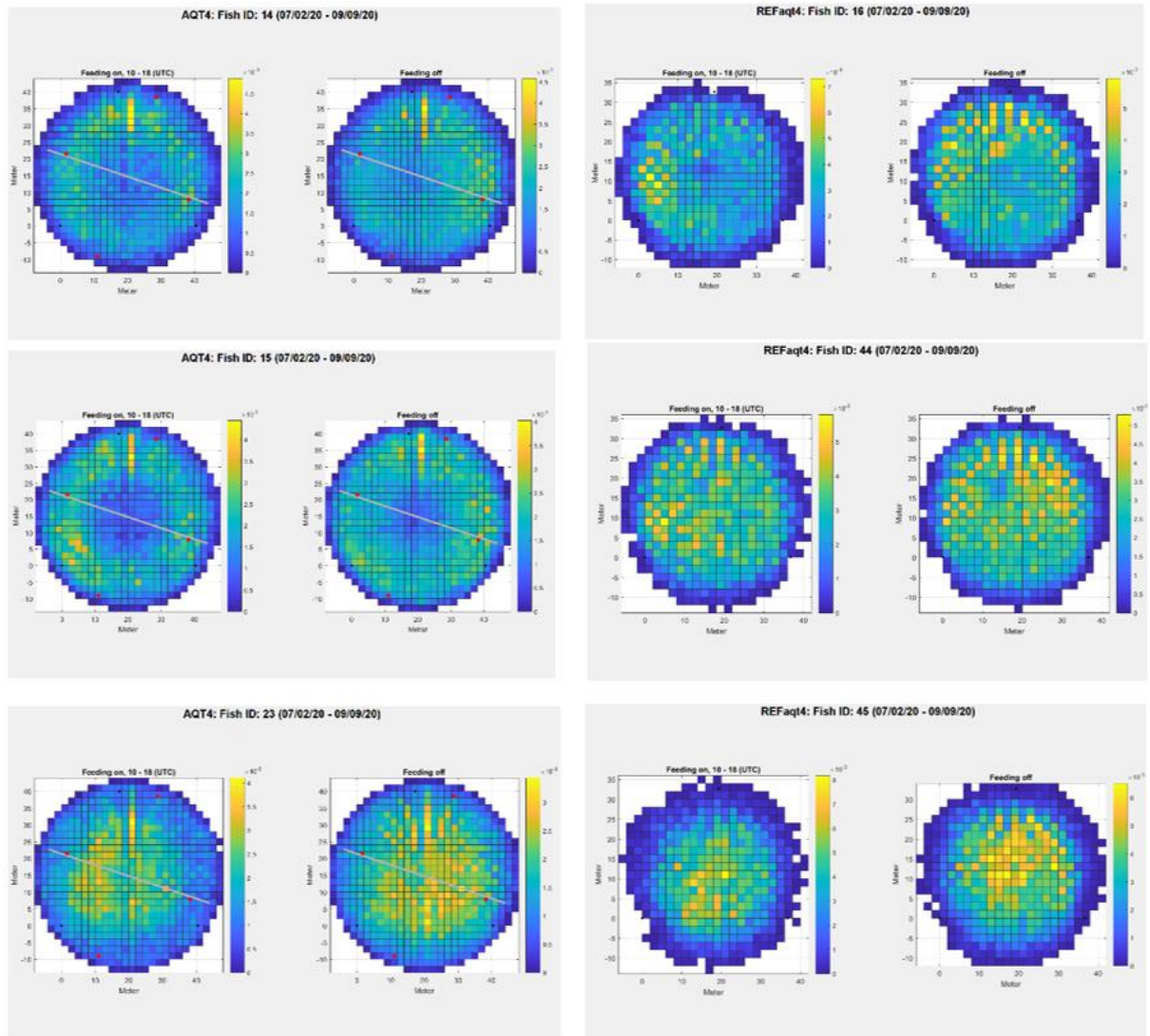
merd	merkedato	lengde (cm)	vekt (g)	ID	merknad
KTR	02.07.2020	43	640	16	Lever til forsøket er slutt 25. april. Redusert datatetthet. Splittfisk
KTR	02.07.2020	40	470	17	Dør 4. april, deretter bunnsignal. Redusert datatetthet. Splittfisk
KTR	02.07.2020	42	535	18	Forsvinn/dør 17. november
KTR	02.07.2020	39	570	19	Lever til forsøket er slutt 25. april. Redusert datatetthet. Splittfisk
KTR	02.07.2020	37	405	20	Lever til forsøket er slutt 25. april.
KTR	02.07.2020	36	435	21	Lever til forsøket er slutt 25. april.
KTR	02.07.2020	41	600	28	Lever til forsøket er slutt 25. april.
KTR	02.07.2020	38	520	29	Lever til forsøket er slutt 25. april.
KTR	02.07.2020	45	670	30	Forsvinner 12. april. Redusert datatetthet. Splittfisk
KTR	02.07.2020	41	610	31	Lever til forsøket er slutt 25. april.
KTR	02.07.2020	45	750	32	Dør 21. august
KTR	02.07.2020	44	690	33	Lever til forsøket er slutt 25. april. Redusert datatetthet. Splittfisk
KTR	02.07.2020	36	425	40	Lever til forsøket er slutt 25. april.
KTR	02.07.2020	35	403	41	Lever til forsøket er slutt 25. april.
KTR	02.07.2020	43	720	42	Lever til forsøket er slutt 25. april. Redusert datatetthet. Splittfisk
KTR	02.07.2020	41	515	43	Lever til forsøket er slutt 25. april.
KTR	02.07.2020	42	515	44	Lever til forsøket er slutt 25. april. Redusert datatetthet. Splittfisk
KTR	02.07.2020	44	790	45	Lever til forsøket er slutt 25. april.

7.3.2. Horizontal fordeling juli-september 2020

Eksempler på horizontal fordeling av tre laks i AQT4, og tre laks i KTR, fra 2. juli til 9. september 2020 er vist i figur 7.1a (dag/natt) og 7.1b (fôring/ikke fôring).



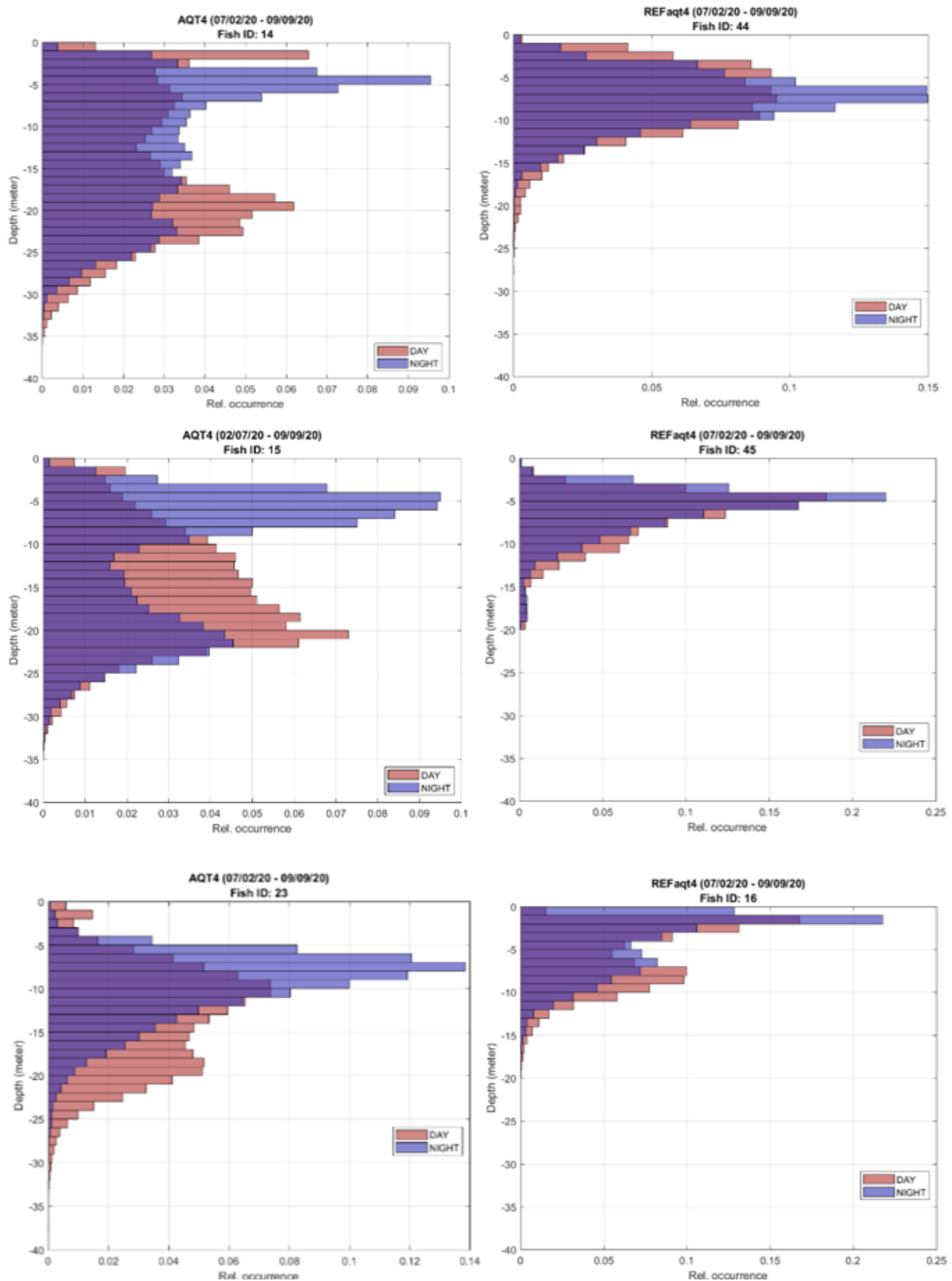
Figur 7.1a: Horizontal fordeling natt/dag (definert av tidspunkt for soloppgang/-nedgang) for tre laks (ID 14, 15 og 23) i AQT4 (venstre panel) og tre laks (ID 16, 44 og 45) i KTR (høyre panel) over perioden fra 2. juli til 9. september 2020. Fordelingene er vist som frekvenser av registreringer i hver rute i horizontalplanet, der gult representerer hyppige registreringer og blått sjeldne registreringer.



Figur 7.1b: Horizontal fordeling under foring/ikke foring til tre laks (ID 14, 15 og 23) i AQT4 (venstre panel) og tre laks (ID 16, 44 og 45) i KTR (høyre panel) over perioden fra 2. juli til 9. september 2020. Fordelingene er vist som frekvenser av registreringer i hver rute i horisontalplanet der gult representerer hyppige registreringer og blått sjeldne registreringer.

7.3.3. Dybdebruk juli- september 2020

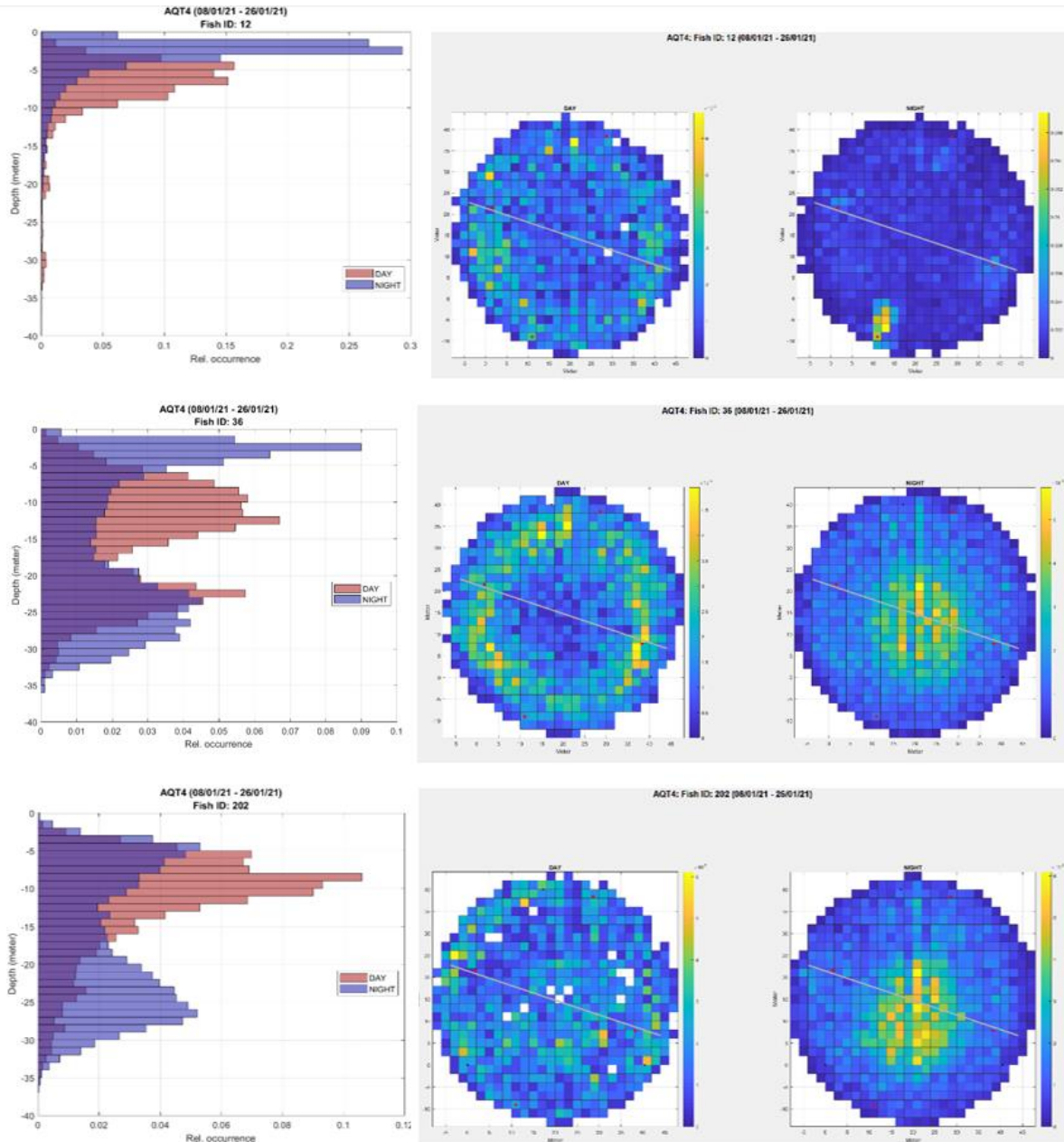
Eksempler på fordeling av dybdebruk for tre laks i AQT4, og tre laks i KTR, fra 2. juli til 9. september 2020 er vist i figur 7.2.



Figur 7.2: Dybderegistreringer natt/dag til tre laks (ID 14, 15 og 23) i AQT4 (venstre panel) og tre laks (ID 16, 44 og 45) i KTR (høyre panel) over perioden fra 2. juli til 9. september 2020. Fordelingene er vist som andel av registreringer for én meters dybdeintervall.

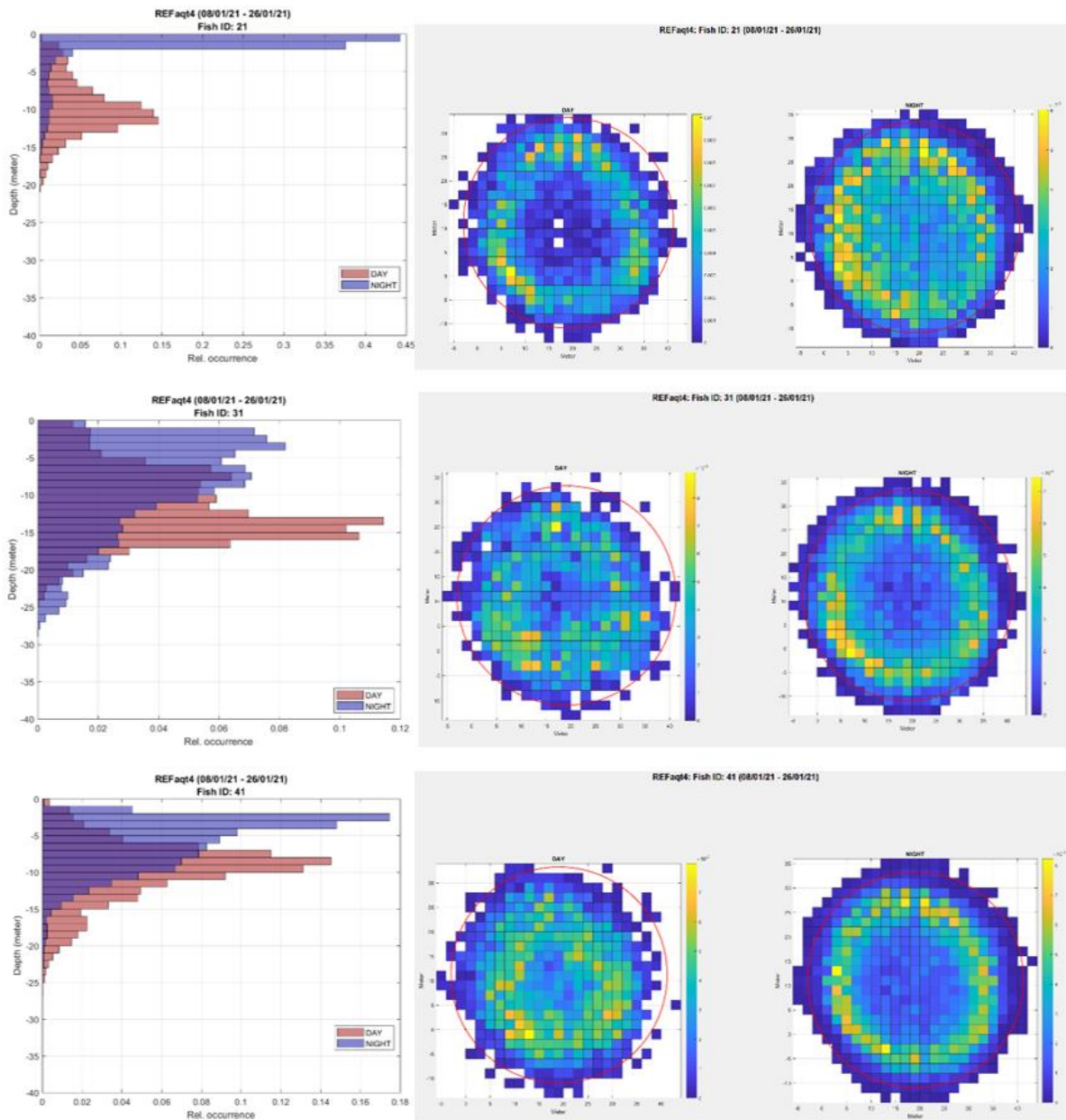
7.3.4. Horisontal fordeling og dybdebruk AQT4 januar 2021

Figur 7.3 viser eksempler på dybderegistreringer og horisontal fordeling for tre laks (ID 12, 36 og 202) fra AQT4 i perioden fra 8. januar til 26. januar 2021. ID 12 har totalt 14 368 posisjoner (gjennomsnittlig 1 posisjon/1.8 min), ID 202 har totalt 13 101 posisjoner (1 posisjon/2.0 min) og ID 36 har totalt 20 823 posisjoner (1 posisjon/1.3 min) i denne perioden.



Figur 7.3: Dybderegistreringer natt/dag (venstre panel) og horisontal fordeling natt/dag (høyre panel) til tre laks (ID 12, 36 og 202) i AQT4, 8. - 26. januar 2021. Fordelingene er vist som andel av registreringer for én meters dybdeintervall eller frekvenser i hver rute i horisontalplanet.

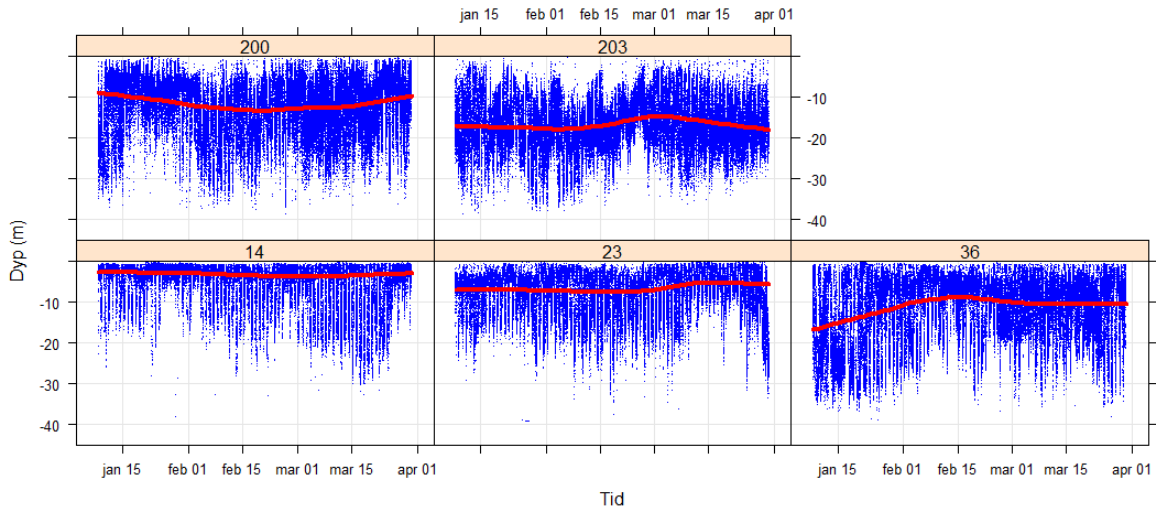
Figur 10.4 viser eksempel på dybderegistreringer og horisontal fordeling for tre laks (ID 21, 31 og 41) fra KTR i perioden 8. januar- 26. januar 2021. ID 21 har totalt 29 178 posisjoner (0,9 minutt mellom posisjoner i gjennomsnitt), ID 31 har totalt 18 482 posisjoner (1,5 minutt mellom posisjoner i gjennomsnitt) og ID 41 har totalt 29 497 posisjoner (0,9 minutt mellom posisjoner i gjennomsnitt) i denne perioden.



Figur 7.4: Dybderegistreringer natt/dag (venstre panel) og horisontal fordeling natt/dag (høyre panel) til tre laks (ID 21, 31 og 41) i KTR, 8.- 26. januar 2021. Fordelingene er vist som andel av registreringer for én meters dybdeintervall eller frekvenser i hver rute i horisontalplanet.

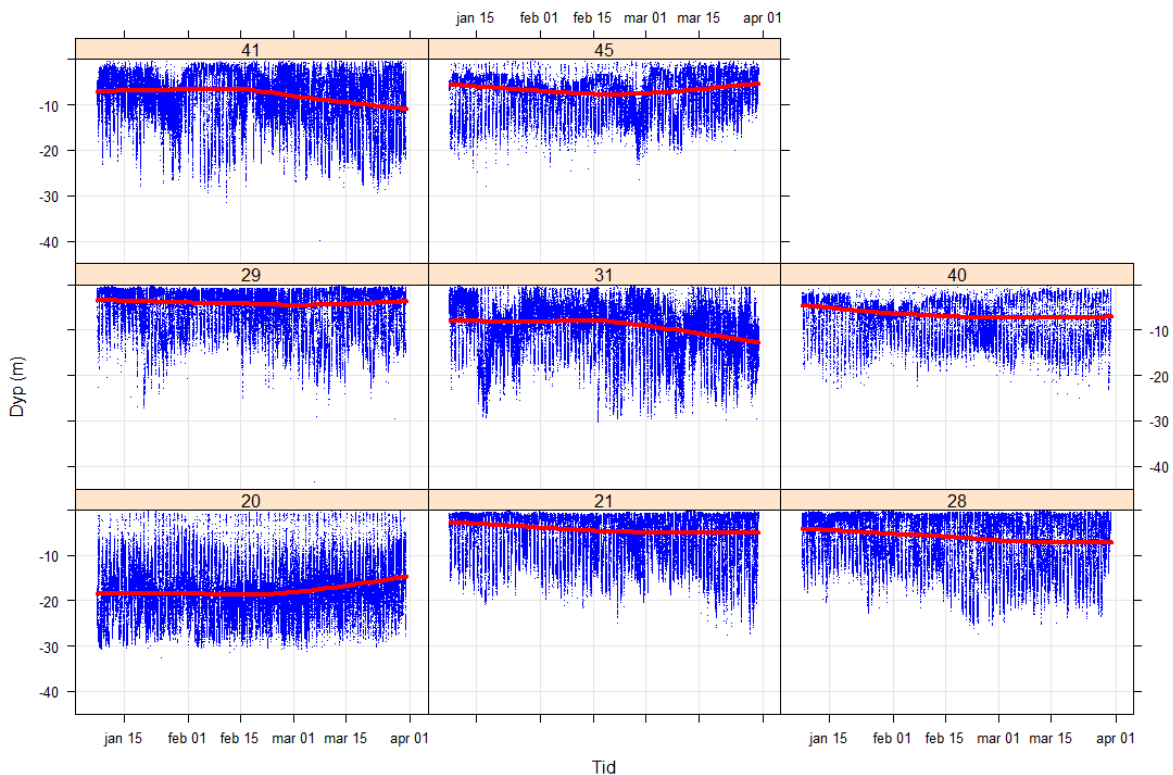
7.3.5. Dybdebruk AQT4 januar- mars 2021

Fem merkede fisk ga dybdesignal over perioden fra 8. januar til 30. mars 2021 i AQT4. Totalt ble det registrert bortimot 1.7 millioner dybderegistreringer for denne perioden, som fordelte seg per individ fra omkring 181 til 428 tusen registreringer (figur 7.5).



Figur 7.5: Dybderegistreringer for fem laks (ID 14, 23, 36, 200 og 203) i AQT4 over perioden januar til mars 2021 (røde linjer angir glattede gjennomsnitt).

I KTR ga åtte merkede fisk dybdesignal over perioden 8. januar til 30. mars 2021. På en enkelt hydrofon ble det totalt registrert 870 tusen dybderegistreringer, som varierte fra omkring 50 til 135 tusen registreringer per individ (figur 7.6).



Figur 7.6: Dybderegistreringer for åtte laks (ID 20, 21, 28, 29, 31, 40, 41 og 45) i KTR over perioden januar til mars 2021 (røde linjer angir glattede gjennomsnitt).

7.3.6. Avstand mellom registreringer

Det er her beregnet forflytning mellom registreringer av individuelle fisk i henholdsvis AQT4 og KTR. Dataene omfatter registreringer fra i alt 21 merkede fisk, der 14 individ var fra AQT4 og 7 individ fra KTR. Alle registreringer med mer enn 30 sekunder imellom ble filtrert ut. Videre ble alle registreringer med mindre enn 2 m distanse imellom og alle registreringer dypere enn 35 m filtrert ut. Minsteavstand på 2 m ble satt på grunn av feilmarginer for posisjoneringen, slik at forflytningene i datasettet er reelle forflytninger. Dybdebegrensingen ble satt for å unngå registreringer av merker som var sunket til bunns i merket fisk som døde. Forflytningsdistanser mellom registreringer beregnet med følgende formel:

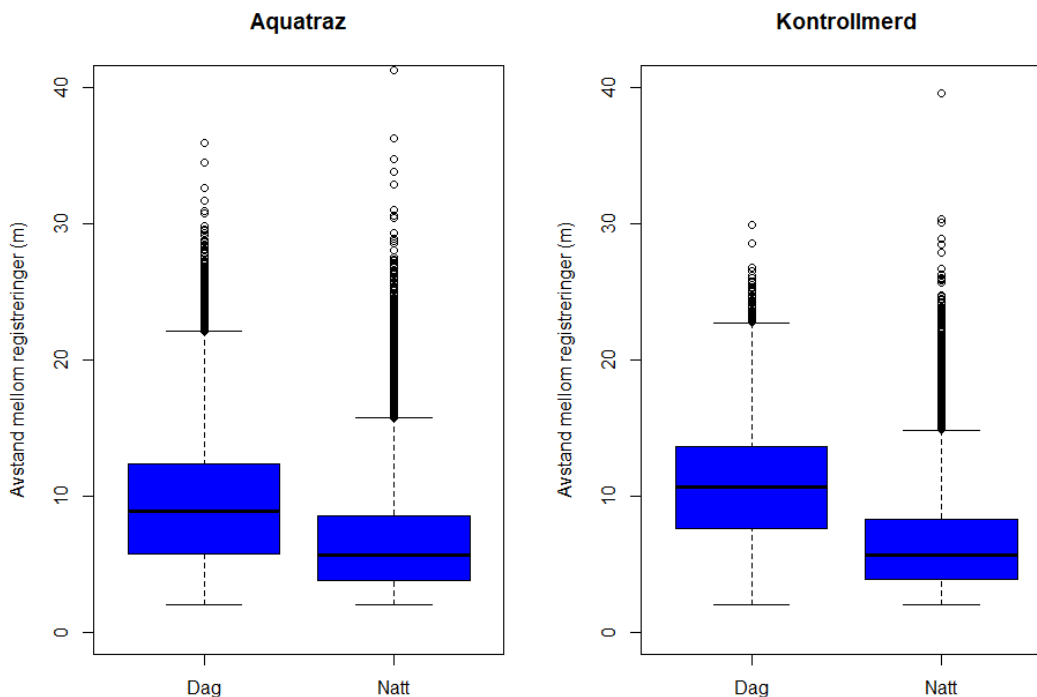
$$\text{Distanse} = \sqrt{(xt2 - xt1)^2 + (yt2 - yt1)^2 + (zt2 - zt1)^2},$$

Der x, y og z er koordinatene for registreringer for to etterfølgende tider t1 og t2.

Analysen dekker 119 dager fra 7. januar til 7. mai 2021.

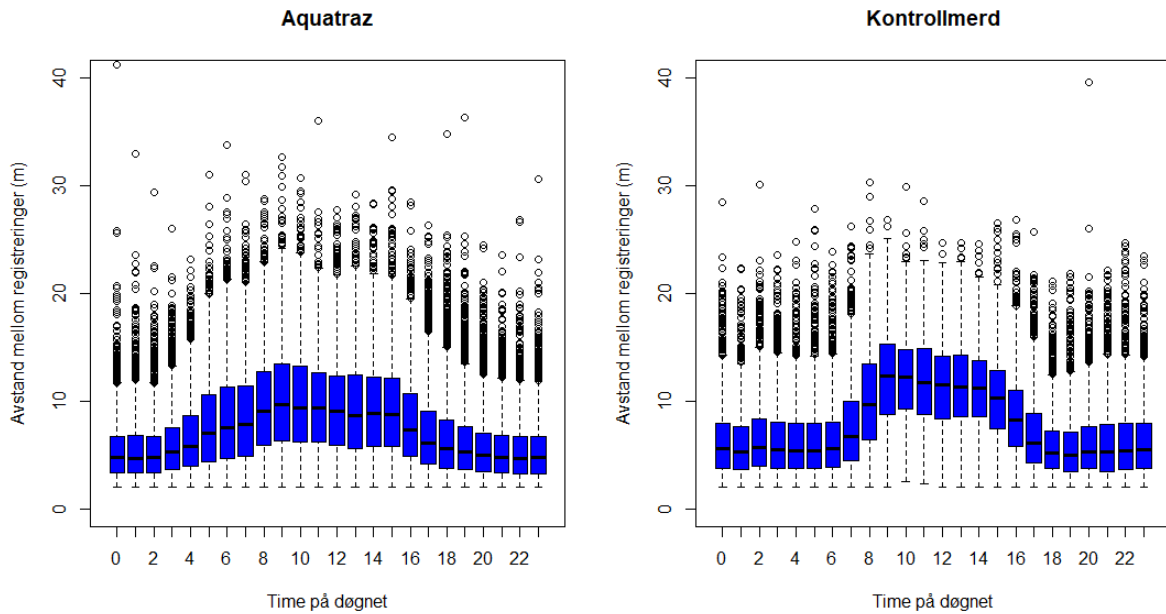
Gjennomsnittlig forflyttet distanse over 2 m var likt for de to merdene, henholdsvis 7,62 m i AQT4 og 7,61 m i KTR.

For begge merdene var forflytningsdistansene større om dagen mellom 0800 og 1600 enn for andre klokkeslett som her er definert som natt (figur 7.7), men forskjellene var mer utpreget i KTR enn i AQT4 (figur 7.8).



Figur 7.7: Fordeling av forflytningsdistanser på minimum 2 m mellom registreringer av merket fisk på dagtid (0800 – 1600) og natt (1600 – 0800) i AQT4 og KTR.

Forskjellene i forflytningsdistanser mellom merdene kommer enda tydeligere frem på endringer gjennom timer på døgnet. I KTR var det en brå økning i aktivitet fra kl. 0800. I AQT4 virker aktiviteten i form av forflytningsdistanser jevnere i økningen over morgentimene (figur 7.8).



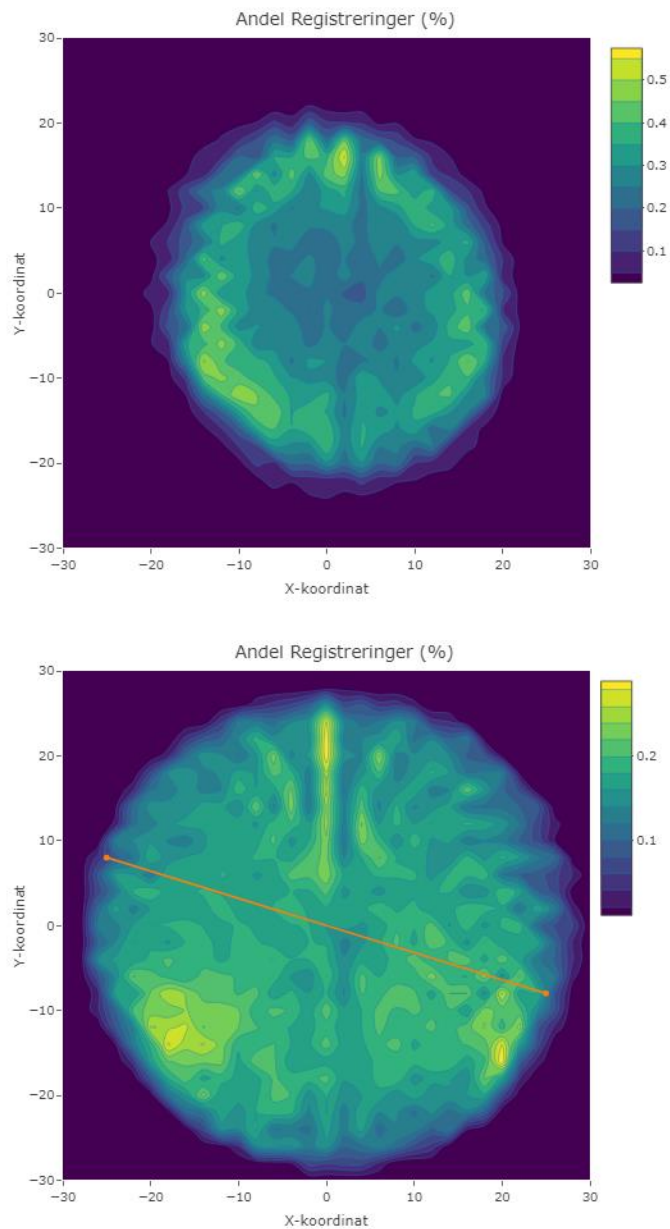
Figur 7.8: Fordeling av forflytningsdistanser på minimum 2 m mellom registreringer av merket fisk for hver klokke time i døgnet i AQT4 og KTR.

Forflytningsdistanse mellom registreringer sier ikke nødvendigvis noe om den totale aktiviteten til fisken i merdene fordi AQT4 var strømsatt mens kontrollmerden ikke var det. Allikevel var det en forskjell mellom merdene i aktivitetsmønster, som viste bråere endring i morgentimene i KTR enn i AQT4.

For å illustrere dynamikken i telemetridatasettet, er det videre laget animasjoner av svømmeatferden til enkeltfisk i [AQT4 \(ID 23\)](#) og [KTR \(ID 41\)](#). Animasjonene viser laksens bevegelser i merden som funksjon av tid, men må forstås som en "minimumsbane" på grunn av telemetrisystemets begrensninger i tidsoppløsning. I perioder med moderat svømmehastighet gir animasjonene likevel et inntrykk av atferdsmønsteret til fisken og hvordan den forflytter seg og tar i bruk ulike deler av merdvolumet gjennom døgnet. Animasjonene angir også estimater av minimum "utsvømt" distanse og svømmehastighet.

7.3.7. Horisontal fordeling av posisjoner

Fordelingen av de posisjonerte registreringene i AQT4 for perioden 7. januar til 7. mai og KTR for perioden 7. januar til 14. februar ble beregnet ved først å beregne frekvensfordelingen av alle posisjoner innen hver 2*2m celle i horisontalplanet. Alle registreringer dypere enn 35m ble filtrert ut for å fjerne registreringer fra døde fisk på bunn av nota. Registreringene omfattet 14 merkede fisk med totalt 541.511 posisjoner i AQT4 og 289.796 posisjoner i KTR. Andelen registreringer innen hver 2*2m celle i horisontalplanet er så plottet i et konturplot i horisontal planet (figur 7.9).

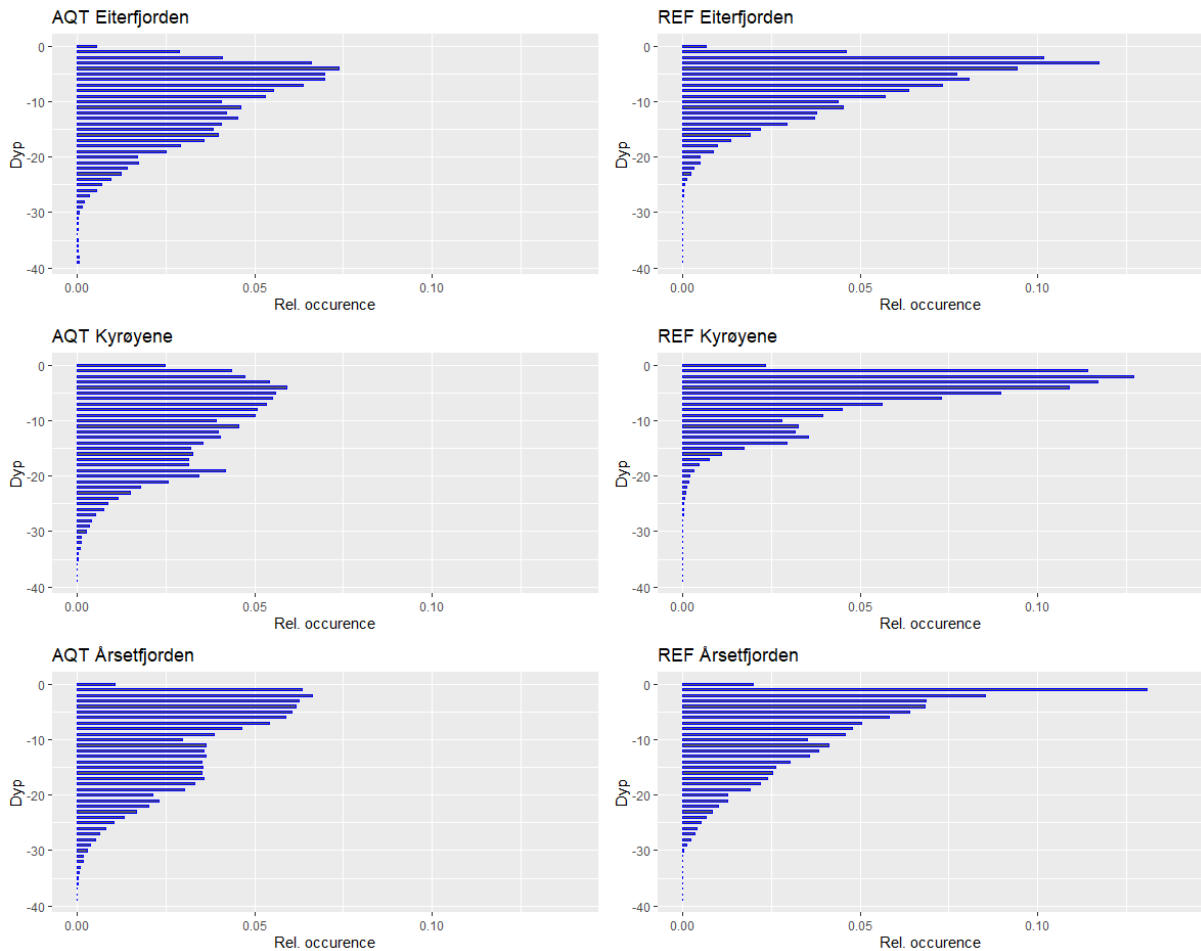


Figur 7.9: Andel registreringer (%) i horisontalplanet for perioden 7. januar – 7. mai i AQT4 (nedre panel) og 7. januar – 14. februar i KTR (øvre panel). Broen på tvers av AQT4 er tegnet inn i figuren.

Det kan se ut som det er jevnere horisontal fordeling av registreringer i AQT4 enn i KTR, der det er lite registreringer sentralt i merden og generelt tettere med registreringer langs merdkanten.

7.3.8. Dybdefordeling i BP3 og tidligere biologiprogram

For å sammenligne dybdefordeling av fisken i AQT og KTR ble den relative forekomsten av akkumulerte registreringer for alle merkede individ i merdene i Eiterfjorden (merdgenerasjon 1), Kyrøyene (merdgenerasjon 2) og Årsetfjorden (merdgenerasjon 3) oppsummert (figur 7.10).



Figur 7.10: Fordeling av dybderegistreringer akkumulert for alle merkede individ i AQT og KTR i merdgenerasjon 1 (øverste panel), merdgenerasjon 2 (midlere panel) og merdgenerasjon 3 (nedre panel).

For alle tre sammenligninger mellom AQT og KTR var det en videre fordeling av dybder i AQT enn i KTR. KTR har tettere med registreringer høyt i de øverste 5m av vannsøylen, mens AQT hadde mye jevnere med registreringer helt ned til 20 dybdemeter.

7.4. Oppsummering

Det oppstod uventet dødelighet etter merking av fisk i AQT4, noe som ikke oppstod i KTR. Årsaken til denne dødeligheten er ikke mulig å stadfeste. Det ble imidlertid observert sår forenlig med typiske treneskader fra innflyttingen av fisk først etter merkingen var gjennomført. Det var også relativt kaldt dypvann i AQT4 i denne perioden. Av de merkede fiskene som døde og ble obdusert var funnene forenlig med sårinfeksjon og sepsis. På merketidspunktet forelå det ingen opplysninger som skulle tilsi at merking skulle være uforsvarlig.

På tross av lavt individantall viser en del mønstre seg i dataene, gjennom flere ulike analytiske tilnærminger. Forskjeller i adferd mellom AQT4 og KTR er også til stede. Den største kilden til spredning i data er likevel variasjon i individuelle preferanser og tydelige døgnmønstre i adferd. Dette er gjennomgående likt uavhengig av studiesystem, etter snart 10 år med adferdsstudier basert på individuelt merket fisk. I seg selv er det verdt å merke seg at fisken opprettholder slike preferanser og adferdsmønstre nesten uavhengig av produksjonssystemer og andre tiltak.

I AQT4 ser man lavere "aktivitetsnivå" enn i KTR og tidligere AQT versjoner. Dette kan ha sammenheng med at strømhastighetene som oppnås nå gir en «ønsket» effekt der fisken står mye stasjonært motstrøms. Det er også tydelige «nattpreferanser» på steder i merden. Dette kan indikere at man

skaper miljøvariasjon som er stor nok til at fisken gjør bevisste valg om hvor den foretrekker å oppholde seg.

Det vil på sikt kunne gjøres kvalitative analyser på dette datasettet og en sammenligning med tidligere generasjoner (AQT1 og AQT2).

8. Vannstrøm og vannkvalitet

Av: Sara Calabrese, Forsker, NIVA, Anders Hobæk, Seniorforsker, NIVA, Bibiana Gomez Crespo, Forsker, NIVA og Trine Dale, Forskningsleder, NIVA.

Delkapittel 8.2 av: Steingrim Holm, prosjektleder Aquatraz, Midt-Norsk Havbruk AS

Delkapittel 8.3 av: Benedicte Otterdal Nergaard og Karen Fosse Sivertsen, Aqua Kompetanse AS.

8.1. Formål og bakgrunn

NIVA har hatt ansvar for prøvetaking og analysering av vannkjemi, alger, dyreplankton og sensordata i biologiprogram 3 på lokaliteten Årsetfjorden. Midt-Norsk Havbruk har gjennomført vannstrømmålinger i enkelte perioder som er beskrevet i kapittel 8.2. Aqua Kompetanse AS har utarbeidet protokoll og sammenstilt hydrografiske målinger fra Årsetfjorden, disse er beskrevet i delkapittel 8.3.

Målet med dette arbeidet har vært å sammenligne produksjonsmiljøet i utviklingskonsesjonsenheten Aquatraz 4 (AQT4) opp mot en konvensjonell merd som blir brukt per i dag av MNH, heretter kalt kontrollmerd (KTR). Miljøet (vannkvaliteten og vannbårne agens) ble også dokumentert i det tilstrømmende vannet (tilst. vann) for å få et grunnlag for å vurdere potensielle utfordringer på lokaliteten knyttet til vannmiljøet. Vannprøver for vannkvalitet ble analysert fra tilst. vann, AQT4 og KTR annenhver uke i perioden mars til oktober og en gang per måned på vinteren (november-februar; tabell 8.1). Vannprøver for mikroalger og dyreplankton ble analysert en gang per måned (tabell 8.1).

Tabell 8.1: Prøvetakingsstasjoner for vannkvalitet og vannbårne agens på lokaliteten Årsetfjorden.

Målepunkt	Vannkvalitet: Prøvetakingsdyp (vannhenter)	Alger: Prøvetakingsdyp (vannhenter)		Dyreplankton: Prøvetakingsdyp (håvtrekk)
		Dyp 1:	Dyp 2:	
Tilst. vann	7 m	3 m	20 m	18 m til overflaten
AQT4	7 m	7 m		18 m til overflaten
KTR	7 m	7 m		18 m til overflaten

8.2. Aktiv vannutskifting og vannstrøm

Aquatraz G3 (AG3) er arrangert med duk i merdvinduene ned til 18 meters dybde for å gi skjerming mot lus, se figur 8.1 og kap. 2.3. Dybden på skjermingen gjør at det er behov for et aktivt vannutskiftingssystem. Vannutskiftingssystemet i Aquatraz G3 består av fire (4) stk. strømsettere, hver på 5,7 kW, se figur 8.1. Hensikten med strømsetterne er å;

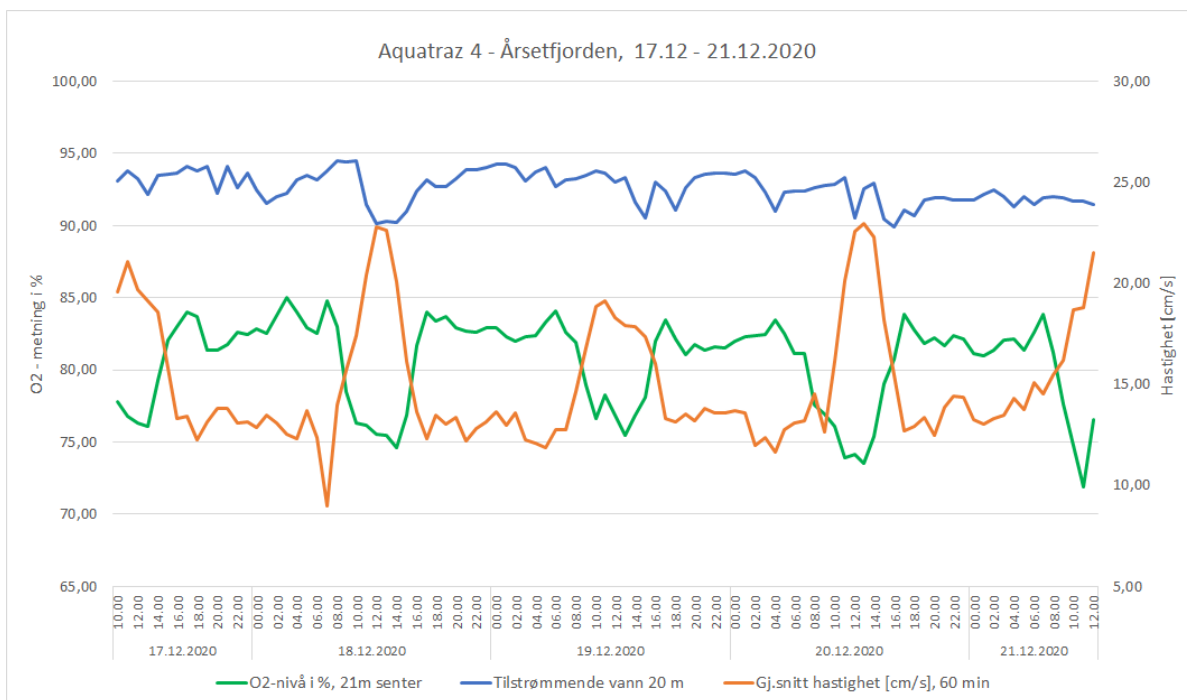
- skape en sirkulær vannstrøm for trimming av laksen
- sørge for tilstrekkelig vannutskifting i merden til å sikre god vannkvalitet gjennom hele produksjonen



Figur 8.1: Aquatraz G3 med 18 m dypt luseskjørt og 4 stk. strømsettere (Bilde: Steinar Johansen).

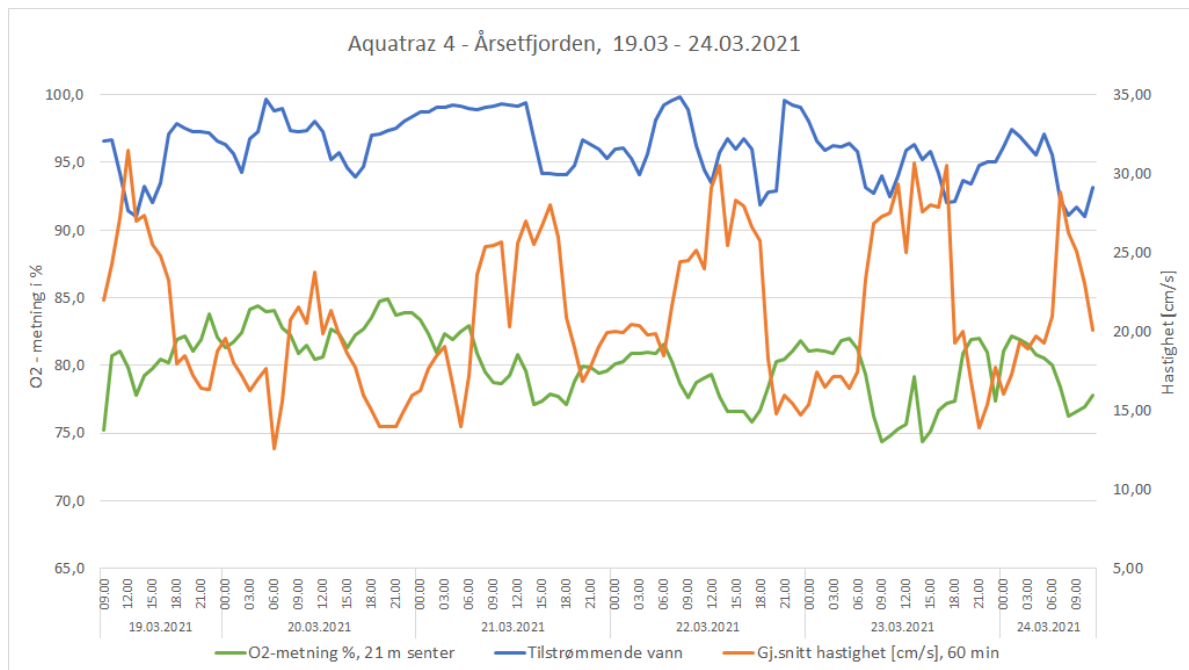
I forbindelse med design av Aquatrazmerden er det gjennomført en rekke CFD analyser for sikre at vannutskiftningen er tilstrekkelig til å oppnå god fiskehelse, fiskevelferd og tilvekst. Fullskalaforsøk er gjennomført for å validere CFD analysene, og disse viser at det er god overenstemmelse med CFD beregningene (Aarsnes 2020). Både CFD analysene og nevnte fullskalaforsøk er gjennomført uten fisk i merden.

Gjennom produksjonen i AG3 har vi sett at det har vært store døgnvariasjoner i både sirkulær vannstrømhastighet og oksygenmetning, se figur 8.2 og 8.3. I tillegg har vi gjennom kontinuerlig logging av oksygenmetning og temperatur til tilstrømmende vann på 20 m dyp og i senter av Aquatraz på 21 m dyp sett at differansen i oksygenmetning har vært større enn forventet. Observasjonene kan ikke forklares på annen måte enn at laksens svømmeaktivitet påvirker vannstrøm og vannutskiftning, samt at resirkulering av bruktvann er større enn beregnet.



Figur 8.2: AQT 4 - sirkulær vannstrømhastighet på 2 m dyp, 2 m fra merdvegg og oksygenmetning i senter av merd på 21 m dyp og for tilstrømmende vann på 20 m dyp. Måleperiode fra 17. - 21. desember 2020. Biomasse i merd ca. 960 tonn. 6 av 8 luseskjørt installert.

I perioden 17. – 21 desember 2020 var gjennomsnittlig oksygenmetning for tilstrømmende vann på 20 m dyp 92,7 % (min. 88,2 % - maks. 94,6 %), mens gjennomsnittlig oksygenmetning for samme periode i senter av merd ved 21 m dyp var 80,6 % (min. 69,1 % – maks. 85,6 %).



Figur 8.3: AQT 4 - sirkulær vannstrømhastighet på 2 m dyp, 2 m fra merdvegg og oksygenmetning i senter av merd på 21 m og for tilstrømmende vann på 20 m dyp. Måleperiode fra 19. - 24. mars 2021. Biomasse i merd ca. 1280 tonn. 8 av 8 luseskjørt installert.

For perioden 19. – 24. mars 2021 var gjennomsnittlig oksygeninnvå i tilstrømmende vann på 20 m dyp 96,1 % (min. 89,3 % - maks.100,7 %), mens gjennomsnittlig oksygenmetning i senter av merd ved 21 m dyp var 80,3 % (min. 72,7 % – maks. 85,4 %).

Målinger av vannstrømhastighet og oksygenmetning i og utenfor merd viser at vannutskiftningen bør forbedres for å kunne opprettholde ønsket oksygenmetning ved stor biomasse. Strømsetterne bytter ut store mengder vann, men erfaring fra AQT4 viser at laksens aktivitet har betydelig innvirkning på både strømningsbilde og vannutskiftning i merden. Denne effekten er så stor at den ikke kan neglisjeres i design av semi-lukkede merdssystemer.

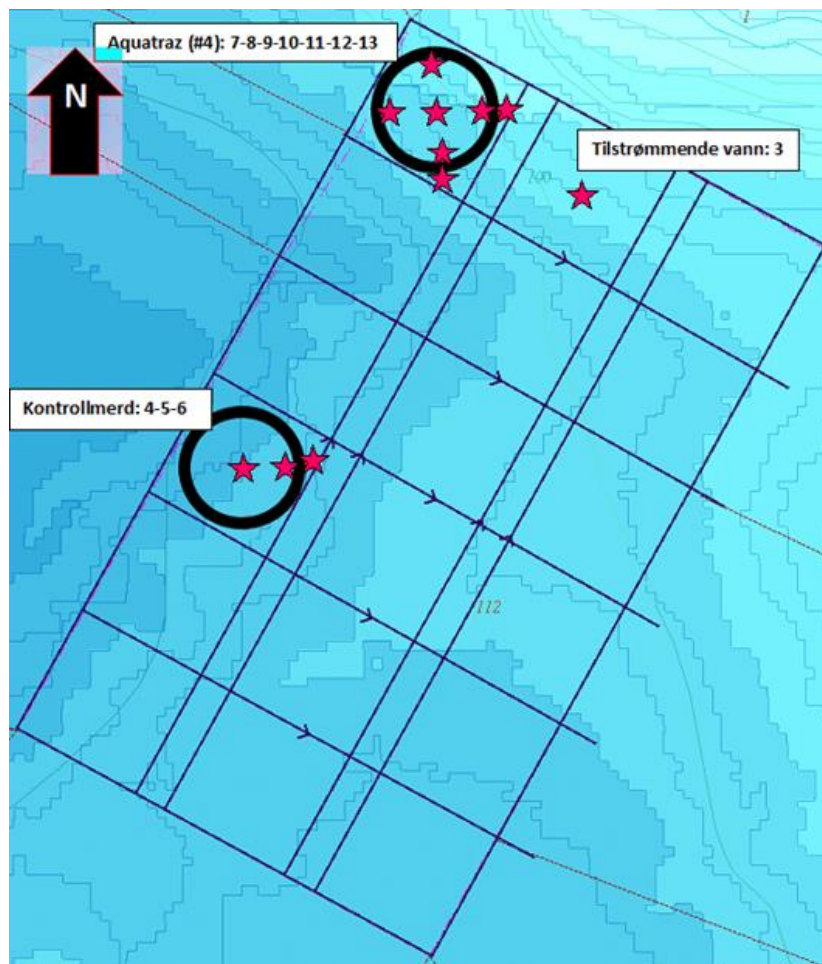
Videre, så viser erfaring fra drift at det er utfordringer med at dødfisk legger seg på inntaksrist til strømsetterne og skader disse. Dette har medført at det har vært behov for ekstra oppfølging av strømsetterne og tidvis har en til to strømsettere vært ute av drift på grunn av reparasjoner av inntaksrist. Hvordan designe et driftssikkert vannutskiftingssystem, som gir god vannkvalitet ved stor biomasse og dype luseskjørt er hovedutfordringen som gjenstår å løse i prosjektet.

8.3. Hydrografiske profiler (CTDO)

Som en del av BP3 i Aquatraz ved Årsetfjorden er det utført hydrografiske profiler ved 11 (13) faste stasjoner (tabell 8.2 og figur 8.4) fordelt på 36 måledatoer gjennom perioden 03.07.2020–0.06.2021. Gjennom BP3 er det utført hydrografiske profiler i 12 måneder som viser hvordan den årlige utviklingen ved Årsetfjorden har vært for 2020-2021. Et utvalg av figurer basert på resultatene fra målingene er presentert i det følgende. Data fra første måledato for hver måned er analysert og presentert grafisk for å kunne vurdere utviklingen over tid.

Tabell 8.2: Beskrivelse av de 13 hydrografiske stasjonene på lokaliteten Årsetfjorden.

Stasjonsnummer	Merd	Beskrivelse	Ca. dyp (meter)
H1	-	Tilst. vann (målinger bare utført 03.07.2020)	180
H2	-	Tilst. vann (målinger bare utført 03.07.2020)	145
H3	-	Tilst. vann	105
H4	KTR	Inne i merd 4, så nært senter som mulig	30
H5	KTR	Inne i merd 4, ved skjørtveggen i øst	30
H6	KTR	Utenfor merd 4 (østsiden)	30
H7	AQT4	Inne i Aquatraz, så nært senter som mulig	30
H8	AQT4	Inne i Aquatraz, ved merdvindu i sør	30
H9	AQT4	Utenfor Aquatraz, ved merdvindu i sør	30
H10	AQT4	Inne i Aquatraz, ved merdvindu i øst	30
H11	AQT4	Utenfor Aquatraz, ved merdvindu i øst	30
H12	AQT4	Inne i Aquatraz, ved merdvindu i nord	30
H13	AQT4	Inne i Aquatraz, ved merdvindu i vest	30

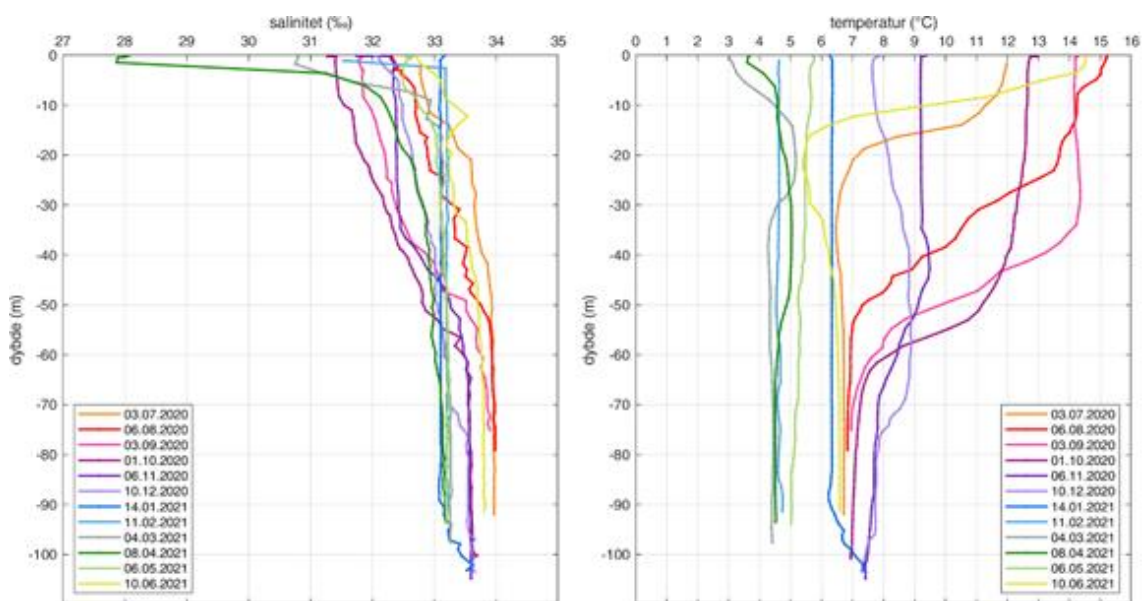


Figur 8.4: Skisse over anleggsrammen ved Årsetfjorden. Hydrografistasjonene H3-H13 er markert med røde stjerner.

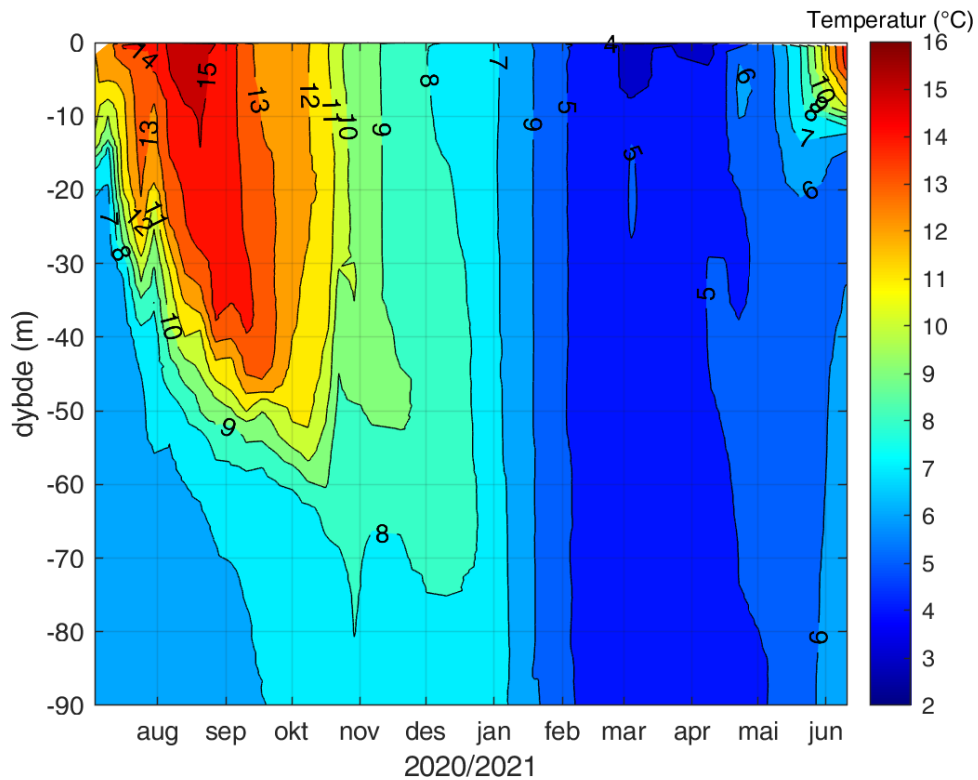
Stasjon H3 «tilst. vann» viser forholdene uten påvirkning fra merd og fisk som et tilnærmet naturgitt utgangspunkt gjennom måleperioden ved Årsetfjorden. Det er omtrent 105 meter dypt ved stasjonen, og CTDO-profilene presenterer data fra hele vannsøylen. Temperaturprofilene (figur 8.5, til høyre) viser en naturlig utvikling med årstidene, med et tydelig varmere overflatelag på sommeren som blir dypere utover høsten og en kaldere og mer blandet vannsøyle i vinter- og vårmånedene, noe som også ses av konturplottet av tidsutviklingen i temperatur (figur 8.6). Den høyeste registrerte temperaturen

i overflaten er 15.6 °C, og ble målt den 20.08.2020 (profil fra denne målingen er ikke inkludert i figurene). Den laveste registrerte overflatetemperaturen er fra målingen utført 04.03.2021, da temperaturen lå på 3 °C. I dypet registreres de høyeste temperaturene i løpet av november og desember etter at det varme overflatelaget fra sommeren gradvis gjennom høsten har blitt innblandet nedover i vannsøylen.

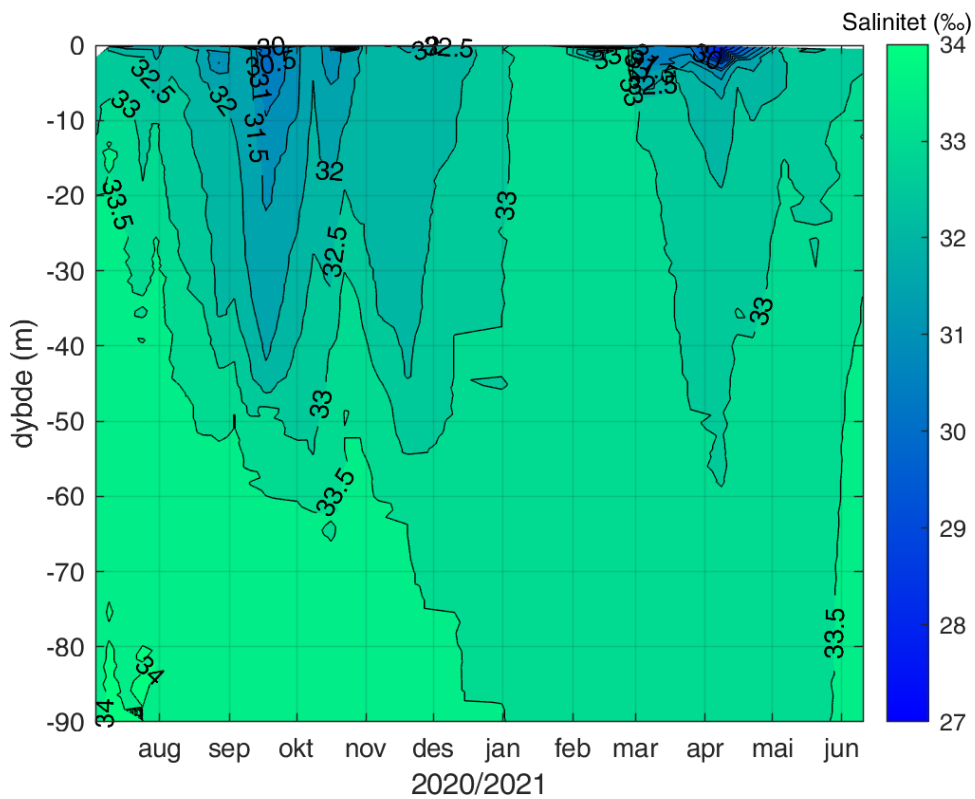
Salinitetsprofilene (figur 8.5, til venstre) viser avtakende salinitet fra juli 2020 og frem til oktober 2020 i øvre halvdel av vannsøylen, hvor den videre øker igjen frem til februar 2021 (figur 8.7). Fra februar 2021 avtar igjen saliniteten i øvre del av vannsøylen frem til mai 2021. Dette er trolig som følge av større avrenning av ferskvann fra land om høsten og våren. Nedre halvdel av vannsøylen (fra omtrent 50 meters dyp) er relativt stabil mht. salinitet gjennom hele måleperioden, men avtar noe fra juli 2020 og frem til januar 2021. Fra januar 2021 og frem til mai 2021 holder saliniteten seg noenlunde stabil, og som for temperatur er hele vannsøylen hovedsakelig godt blandet i denne perioden.



Figur 8.5: Salinitet (%), til venstre) og temperatur (°C, til høyre) i stasjon H3 (tilst. vann) ved Årsetfjorden. Målingene er utført i perioden juli 2020–juni 2021. Se tegnforklaringen nederst til venstre og høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

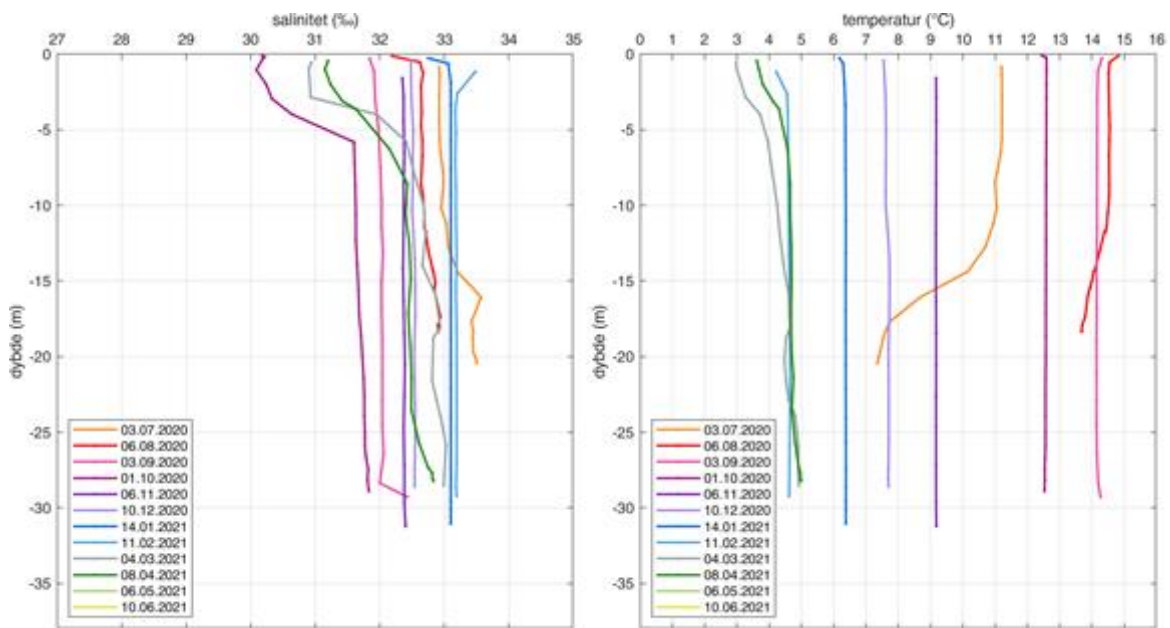


Figur 8.6: Konturplott av tidsutviklingen i temperatur (°C) ved stasjon H3 (tilst. vann) ved Årsetfjorden i perioden juli 2020– juni 2021. Fargeskalaen til høyre angir temperaturverdier.

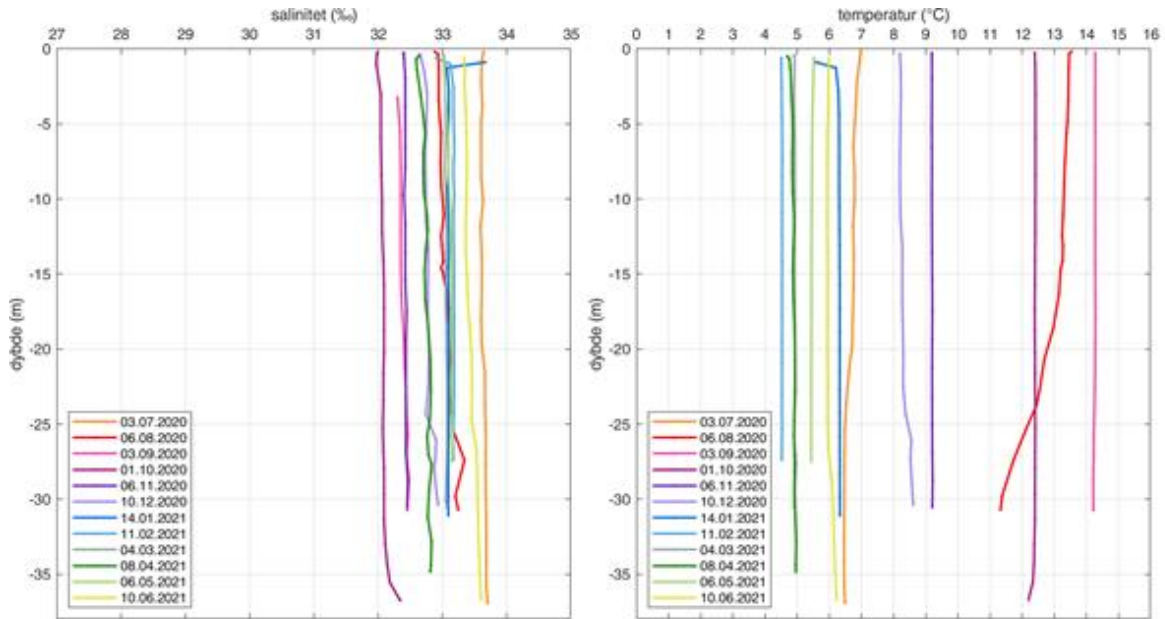


Figur 8.7: Konturplott av tidsutviklingen i salinitet (‰) ved stasjon H3 (tilst. vann) ved Årsetfjorden i perioden juli 2020– juni 2021. Fargeskalaen til høyre angir salinitetsverdier.

Temperatur- og salinitetsprofilene fra innsiden av og utenfor kontrollmerden, samt utenfor AQT4, viser hovedsakelig de samme forholdene som for tilst. vann i tilsvarende dyp. For temperaturen målt i juli og august 2020 observeres samme lagdeling inne i kontrollmerden som i tilst. vann, med et varmere overflatelag over kaldere vannmasser (figur 8.8, til høyre). Denne variasjonen er ikke like tydelig i profilene tatt i sentrum av AQT4 (figur 8.9, til høyre), men en svak gradient med varmere overflate observeres for profilene fra juli og august 2020 i AQT4. Forskjellen i temperaturutviklingen mellom kontrollmerd og AQT4, er at AQT4 hovedsakelig holder lavere temperaturer gjennom sommeren grunnet oppblanding av kaldere vannmasser fra under merdene. For saliniteten holder AQT4 (figur 8.9, til venstre) stort sett høyere saltholdighet enn for stasjon H4 i kontrollmerden (figur 8.8, til venstre). Mindre variasjon gjennom hele måleperioden observeres også for AQT4 sammenlignet med H4 i kontrollmerden. Overflaten i kontrollmerden følger også mer salinitetsprofilen fra utsiden av kontrollmerden.

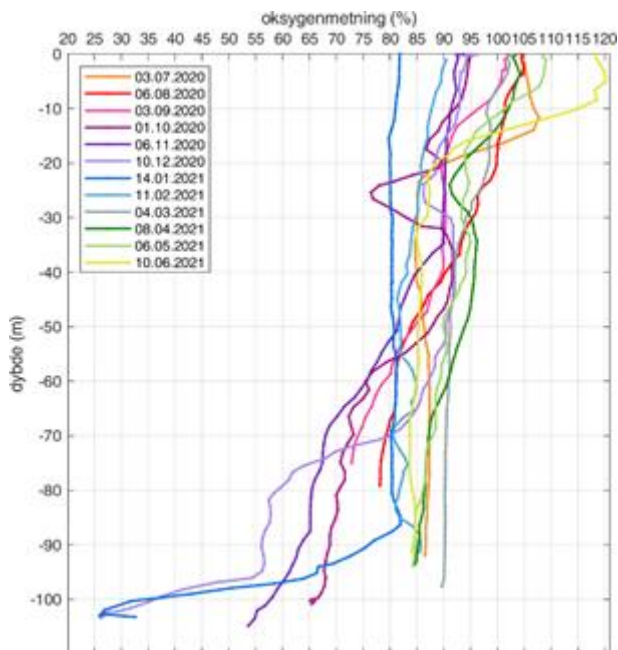


Figur 8.8: Salinitet (%), til venstre) og temperatur (°C, til høyre) i stasjon H4 (kontrollmerd/merd 4 – sentrum) ved Årsetfjorden. Målingene er utført i perioden juli 2020–juni 2021. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 06.05.2021 og 10.06.2021. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

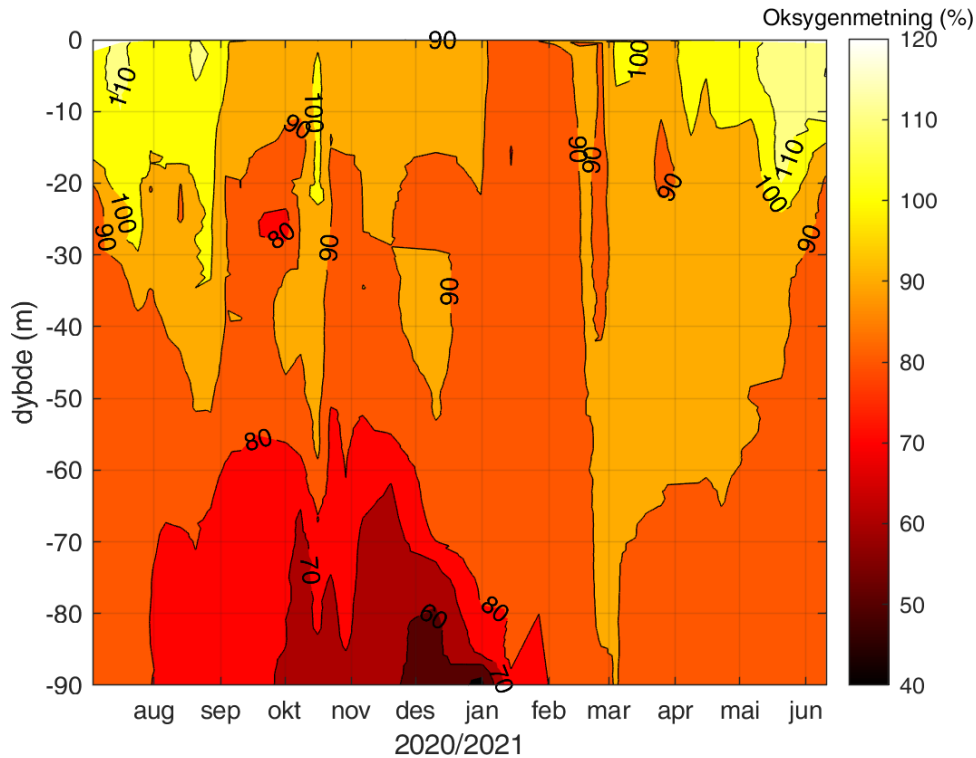


Figur 8.9: Salinitet (‰, til venstre) og temperatur (°C, til høyre) i stasjon H7 (Aquatraz #4 – sentrum) ved Årsetfjorden. Målingene er utført i perioden juli 2020–juni 2021. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

Oksygenforholdene varierer gjennom måleperioden for stasjon H3, «tilst. vann», med forventede variasjoner i øvre del av vannsøylen basert på biologisk aktivitet og temperatur gjennom årstidene (figur 8.10 og 8.11). Samtlige målinger registrerer over 80 % oksygenmetning fra overflaten og ned til 50 meters dyp. Videre nedover mot bunnen avtar hovedsakelig mengden oksygen gjennom høsten og vinteren, og øker igjen til over 80 % i mars, april og mai 2021. Fra omtrent 90 meters dyp og nedover til bunnen minker oksygeninnholdet stadig mer drastisk gjennom høsten og vinteren, og i desember 2020 og januar 2021 observeres lave verdier ved bunnen med oksygenmetning ned mot 25 %.

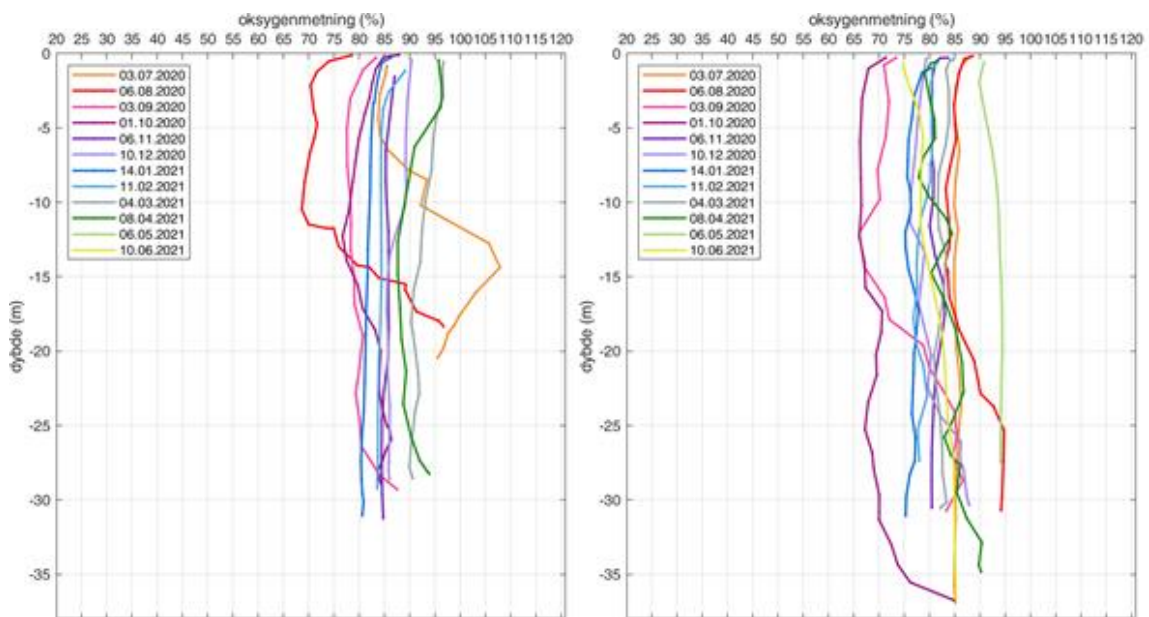


Figur 8.10: Oksygenmetning (%) i stasjon H3 (100 m fra Aquatraz, tilstrømmende vann) ved Årsetfjorden. Se tegnforklaring øverst til venstre for måledato tilhørende hver graf.



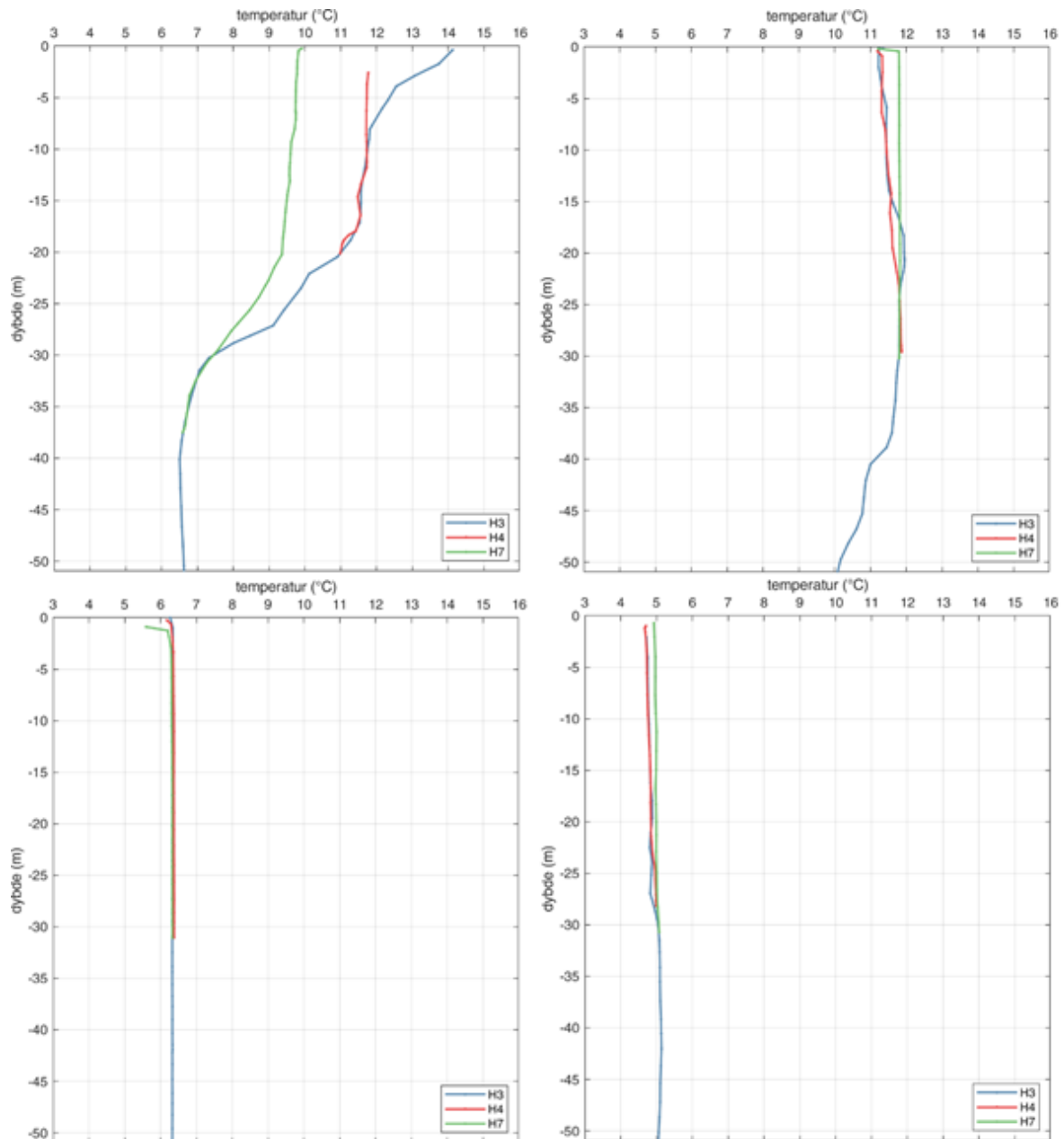
Figur 8.11: Konturplott av tidsutviklingen i oksygenmetning (%) ved stasjon H3 (tilst. vann) ved Årsetfjorden i perioden juli 2020– juni 2021. Fargeskalaen til høyre angir nivået oksygenmetning.

Oksygenforholdene i KTR og AQT4 viser mer stabile profiler sammenlignet med verdiene registrert i tilst. vann på tilsvarende dyp. Vannmassene er stort sett godt blandet i hele den målte delen av vannsøylen, men stasjon 4 (figur 8.12, til venstre) og 7 (figur 8.12, til høyre) viser generelt lavere verdier sammenliknet med tilst. vann (figur 8.10). Noe variasjon fra profilene i KTR, utenfor AQT4 og innenfor AQT4 er observert, hvor oksygenverdiene er lavere inne i AQT4 sammenlignet med verdiene rett utenfor og i KTR. Profilene fra KTR og utenfor AQT4 ligger på 75–105 % metning, mens profilene fra innsiden av AQT4 ligger på 65–95 % metning.



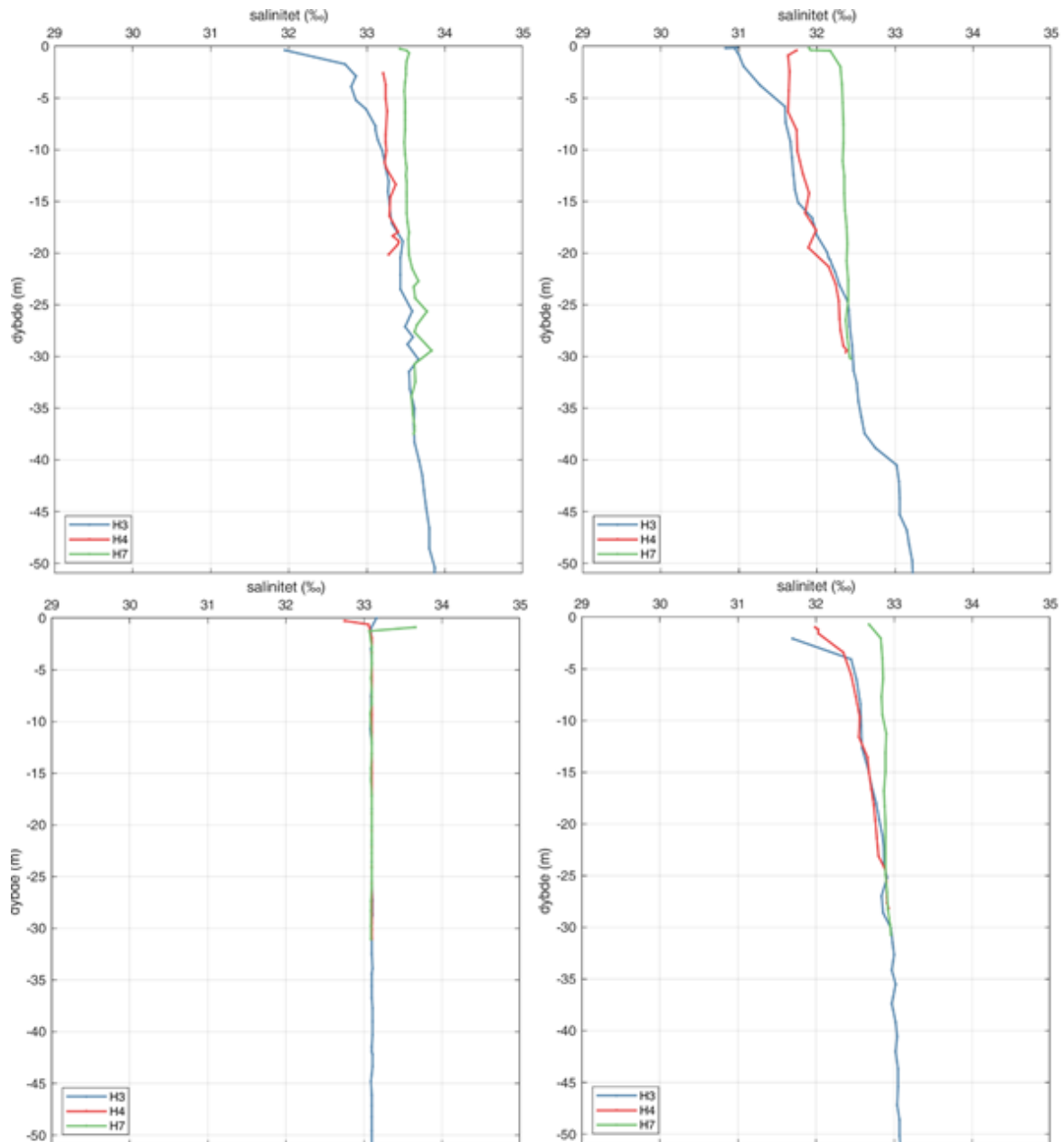
Figur 8.12: Oksygenmetning (%) i stasjon H4 (til venstre, kontrollmerd/merd 4 – sentrum) og H7 (til høyre, Aquatraz #4 – sentrum) ved Årsetfjorden. Det ble ikke utført målinger i stasjon H4 den 06.05.2021 og 10.06.2021. Se tegnforklaring øverst til venstre for måledato tilhørende hver graf.

Data fra overflaten og ned til 50 meters dyp fra stasjon H3, H4 og H7 er presentert for fire utvalgte datoer som representerer hver sin årstid. Målingen utført 16.07.2020 (figur 8.13, oppe til venstre) representerer sommer, målingen utført 16.10.2020 (figur 8.13, oppe til høyre) representerer høst, målingen utført 14.01.2021 (figur 8.13, nede til venstre) representerer vinter og målingen utført 15.04.2021 (figur 8.13 nede til høyre) representerer vår. Temperaturen i alle stasjonene utvikler seg i takt med sesong med de høyeste temperatuere på sommeren og gradvis lavere temperaturer gjennom høsten og mot vinteren og våren. Vannsøylen blir også mer homogen utover høsten og mot vinteren i alle stasjonene, både i AQT, kontrollmerden og utenfor. Om sommeren er det tydelig større forskjell mellom temperaturen på innsiden og utenfor AQT4, og sammenlignet med KTR. Kaldere vannmasser fra 20-25 meters dyp hentes opp i AQT4 og gir kaldere overflatevann enn omkringliggende vannmasser utenfor og i kontrollmerden gjennom sommeren.



Figur 8.13: Temperatur (°C) i stasjon H3, H4 og H7 på Årsetfjorden. Blå graf representerer H3 (100 m fra Aquatraz, tilstrømmende vann), rød graf representerer H4 (kontrollmerd/merd 4 – sentrum) og grønn graf representerer H7 (Aquatraz #4 – sentrum). Målingene er utført 16.07.2020 (oppe til venstre), 16.10.2020 (oppe til høyre), 14.01.2021 (nede til venstre) og 15.04.2021 (nede til høyre).

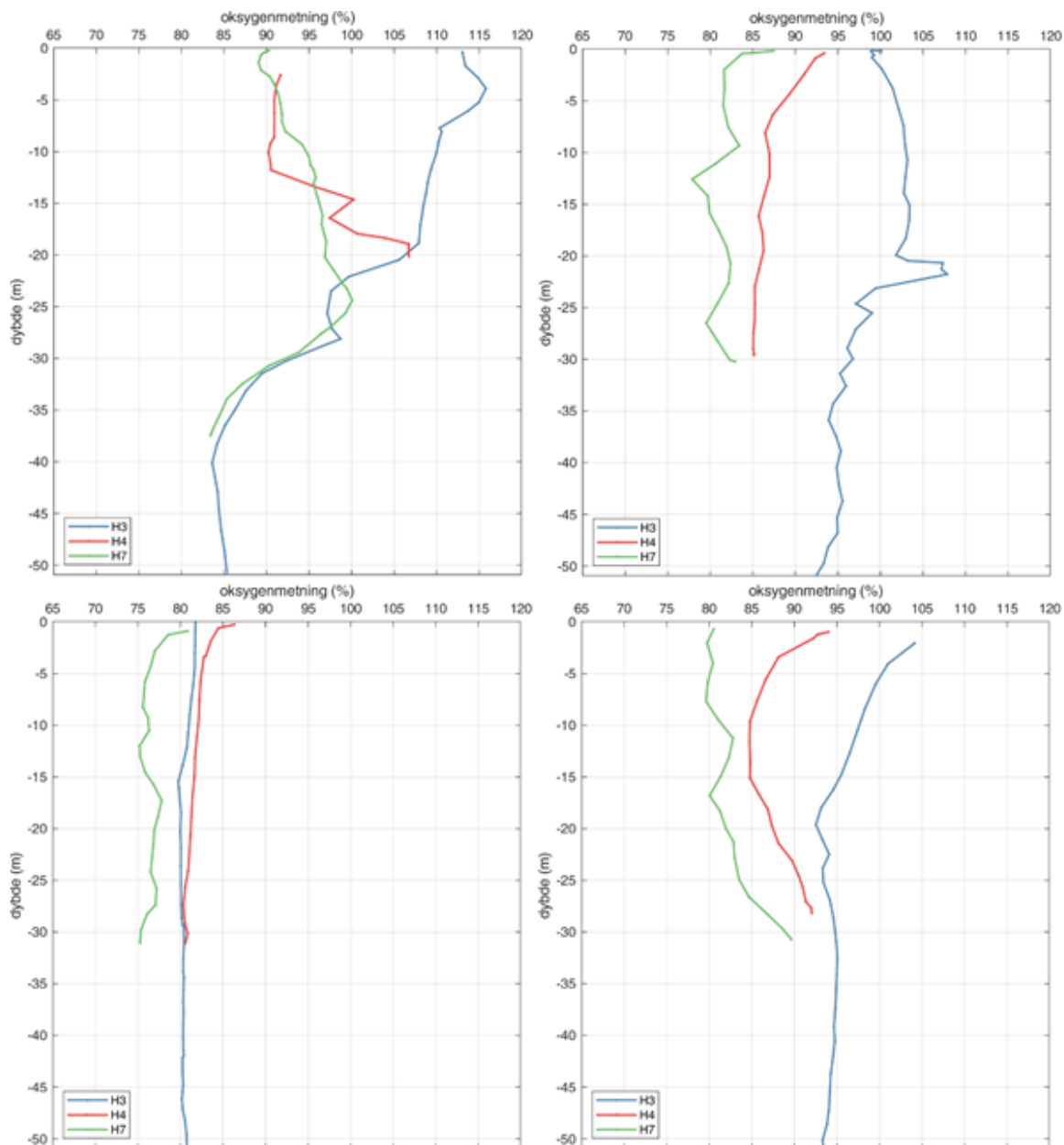
For saliniteten er det variasjon mellom målingene fra innsiden og utenfor AQT4 og KTR for både, sommer, høst og vår (figur 8.14). Det er tilnærmet ingen variasjon om vinteren for alle stasjonene. Saliniteten er hovedsakelig høyere i AQT4 sammenlignet med målingene fra KTR og utenfor AQT4, noe som kommer av at saltere vann fra underliggende vannmasser blandes opp i AQT4. Det er observert mest endring i saliniteten gjennom de tre målingene i stasjon H3, tilst. vann. Generelt varierer ikke saliniteten veldig mye fra stasjon til stasjon for hver måling som er presentert.



Figur 8.14: Salinitet (‰) i stasjon H3, H4 og H7 på Årsetfjorden. Blå graf representerer H3 (100 m fra Aquatraz, tilstrømmende vann), rød graf representerer H4 (kontrollmerd/merd 4 – sentrum) og grønn graf representerer H7 (Aquatraz #4 – sentrum). Målingene er utført 16.07.2020 (oppe til venstre), 16.10.2020 (oppe til høyre), 14.01.2021 (nede til venstre) og 15.04.2021 (nede til høyre).

Oksygenforholdene gjennom sommeren (figur 8.15, oppe til venstre), høsten (figur 8.15, oppe til høyre), vinteren (figur 8.15, nede til venstre) og våren (figur 8.15, nede til høyre) varierer noe mer fra stasjon til stasjon. I vannsøylens 30 øverste meter ligger oksygenmetningen mellom 70 og 115 %. Stasjonene innenfor AQT4 og kontrollmerden viser hovedsakelig lavere verdier gjennom alle fire

sesonger sammenlignet med profilene tatt utenfor. Fra sammenligning mellom AQT4 og KTR holder AQT4 hovedsakelig lavere verdier enn kontrollmerden.



Figur 8.15: Oksygenmetning (%) i stasjon H3, H4 g H7 på Årsetfjorden. Blå graf representerer H3 (100 m fra Aquatraz, tilstrømmende vann), rød graf representerer H4 (kontrollmerd/merd 4 – sentrum) og grønn graf representere H7 (Aquatraz #4 – sentrum). Målingene er utført 16.07.2020 (oppe til venstre), 16.10.2020 (oppe til høyre), 14.01.2021 (nede til venstre) og 15.04.2021 (nede til høyre).

8.4. Sensordata

Oksygen (O₂) og temperatur har vært overvåket i sanntid ved hjelp av fastmonterte sensorer. Sensorer har vært montert i tilstrømmende vann, i KTR og i AQT4 (se tabell 8.3). Sensorene har vært online og parameterne har blitt logget hvert 10. minutt. Data fra perioder med tydelig driftsfeil i en eller flere sensorer har blitt fjernet. Eksterne faktorer slik som fôrparkler, avføring og groe på sensoren vil

påvirke sensormembranens permeabilitet og funksjon, i tillegg skaper groe-organismenes respirasjon et mikromiljø rundt sensoren med lavere oksygen enn det som er realiteten. Vi har ekskludert høye O₂-verdier på over 105- % som ofte korrelerer med økt temperatur, noe som tydelig viser at sensoren er ute av drift. Vanskeligere er det å bedømme om lave O₂-verdier er reelle eller oppstår på grunn av groe eller andre faktorer som påvirker sensormembranens permeabilitet. Det er derfor ikke grunnlag for å sette noen nedre grense for lave verdier. Resultatene fra samtlige målte stasjoner viser en større variasjon og en del plutselige dropp i O₂ (under 60 % metning) (figur 8.16) som ikke nødvendigvis gjenspeiler virkeligheten. Det er spesielt O₂-metning som er følsom for ytre faktorer, dermed må dataene tolkes med forbehold, dvs. den store datamengden gir et godt grunnlag for å se på forskjeller mellom målepunkter, men absolutte verdier kan være misvisende.

Tabell 8.3: Dyp og plassering av online sensorer som måler Oksygen (O₂; i % av luftmetning) og temperatur (°C).

Målepunkt	Plassering	Dyp
Tilst	Tilst	5 og 20 m
AQT	Senter	5 og 21 m
	Vegg vest	18 m
KTR	Senter	5 og 15 m
	Mot øst	5 m

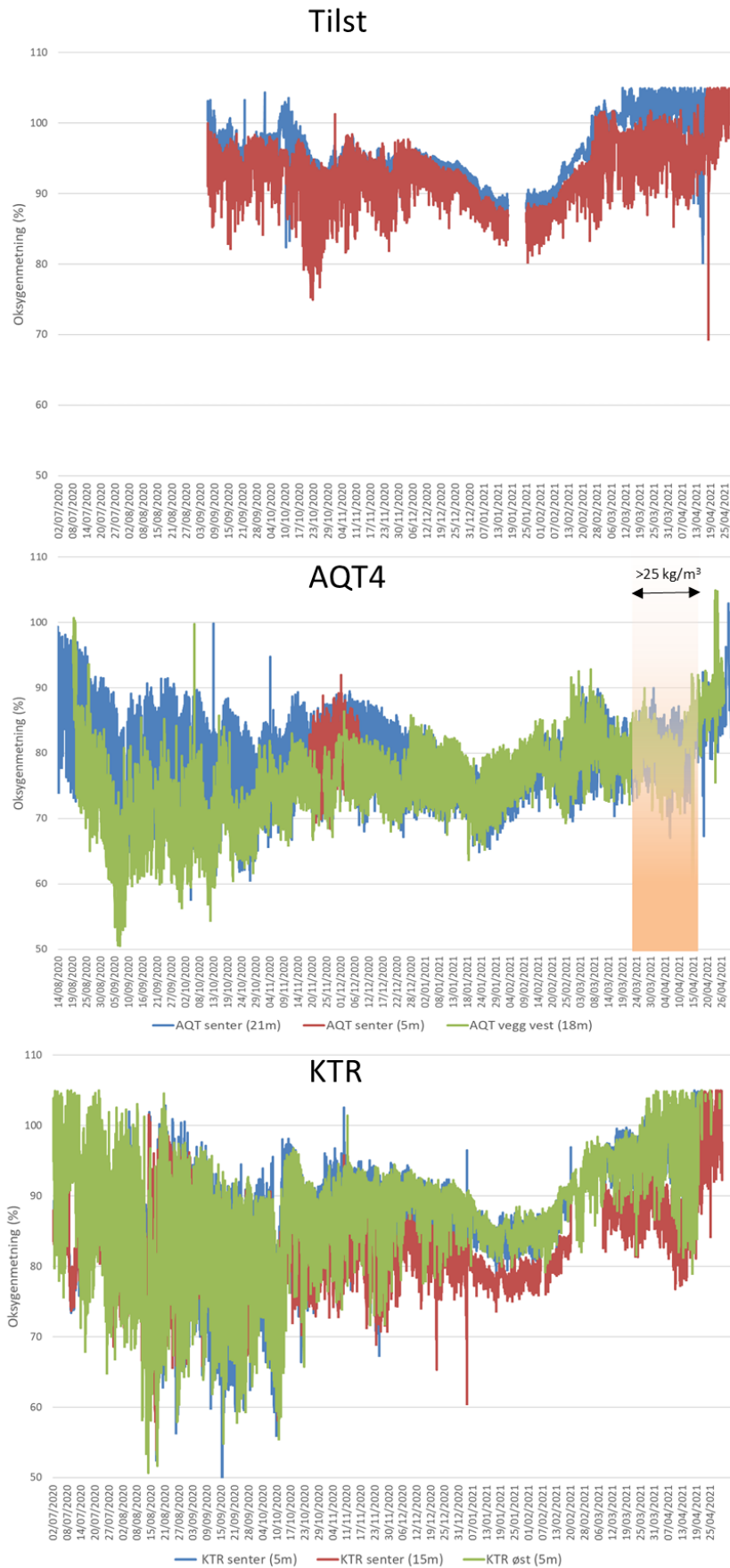
I denne rapporten har vi sett på trender i O₂-metning og temperatur i perioden fra 2. juli 2020 til 1. mai 2021 (figur 8.16 og 8.17).

I perioden har alle sensorer i AQT4 målt systematisk lavere O₂-nivåer enn både KTR og tilst. vann. Den gjennomsnittlige O₂-metningen i senter/midten av AQT4 på 21m dyp var 78 %, til sammenligning var den 82 % i KTR på 15m dyp (figur 8.17). I perioden 19/11/2020-10/12/2020, da to sensorer var i drift i senter av AQT4 så var O₂-metningen noe høyere på 21 m dyp sammenlignet med 5m dyp, sensoren plassert på den vestre vegg på 18m dyp viste den laveste gjennomsnittlige O₂ metningen (figur 8.17). Til tross for at O₂-metningen var lavere enn forventet i senter av AQT på 21m dyp sammenliknet med det tilst. vannet (se avsnitt 8.2) så er det generelle mønsteret i samsvar med det forventede strømningsbildet i generasjon 3 av AQT. Den største variasjonen og de laveste O₂-metnings verdiene i både AQT4 og KTR ble målt fra de første målingene i KTR i juli og de første i AQT4 i august fram til starten på november 2020 (figur 8.16). I denne perioden var det flere tilfeller hvor O₂-metningen underskred 60 %. Det finnes ikke sensordata fra det tilst. vannet for hele denne perioden, men CTDO-profiler utført i juli, august og september indikerer en vis lagdeling, men likevel en god O₂-metning (>90 %) ned til 40 m dyp (se figur 8.10). En økt variasjon og nedgang i O₂-metning ble også observert i AQT3 i BP2 i Eiterfjorden sensommeren 2019. En forklaring til denne trenden på begge lokalitetene kan være den økte vanntemperaturen (figur 8.19) i perioden hvilket minsker løseligheten av O₂ i vannet samtidig som fiskens metabolisme er høy. Videre kan variasjonen og de lave O₂-verdiene ført til stress som igjen vil øke fiskens O₂-forbruk.

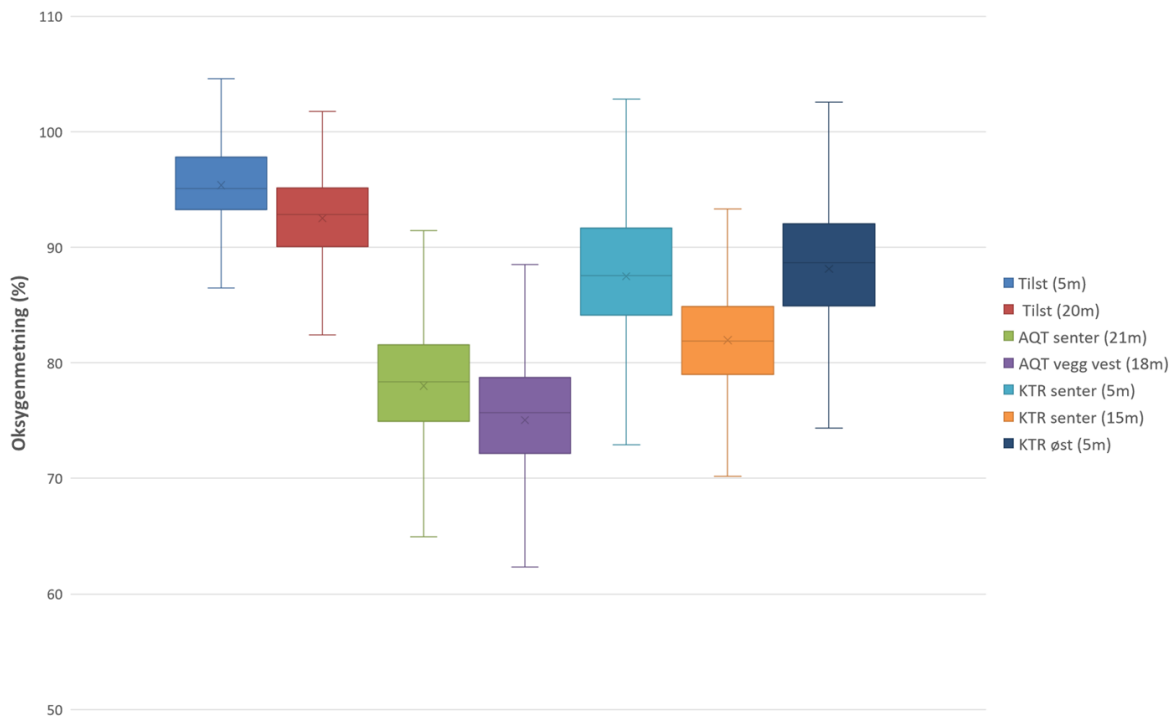
I oppdrettssystemer med periodisert fôring (dagtid) vil O₂-forbruket sannsynligvis øke utøver dagen med fôringsaktivitet og metabolske prosesser, for å siden synke igjen på natten fram til fôring starter igjen. Dette mønsteret var særlig tydelig i senter av AQT4 der O₂-metningen gikk ned ca. 5 % mellom kl 8.00 og 11:00 for å sakte øke igjen til en metning på mellom 80-85 % ved kl 19 på kvelden (figur 8.18). I tillegg vil den øvrige biologiske aktiviteten i sjøen påvirke O₂-nivået, slik som algenes fotosyntese om dagen og nedbrytning/ respirasjon av alger og biologisk materiale om natten. Dette mønsteret var ikke særlig tydelig på 20 m dyp i det tilstrømmende vannet i nov-des da algekonsentrasjonen er lav (figur 8.21). På denne årstiden ser variasjonen i O₂-metning i det tilst. vannet ut til å være mer relatert til tidevanssendringer.

I perioden fra 23. mars 2021 til 18. april 2021 (oppstart av slakt AQT4) var fisketettheten over 25 kg/m³ (tall fra produksjonsstyringssystemet Fishtalk). I denne perioden var den gjennomsnittlige oksygenmetningen 81 % (AQT senter 21m dyp) og dermed over gjennomsnittet for hele perioden totalt sett. Det ble heller ikke oppdaget noen tydelige dropp eller økt variasjon i O₂-metning ved tettheter over 25 kg/m³ (figur 8.16).

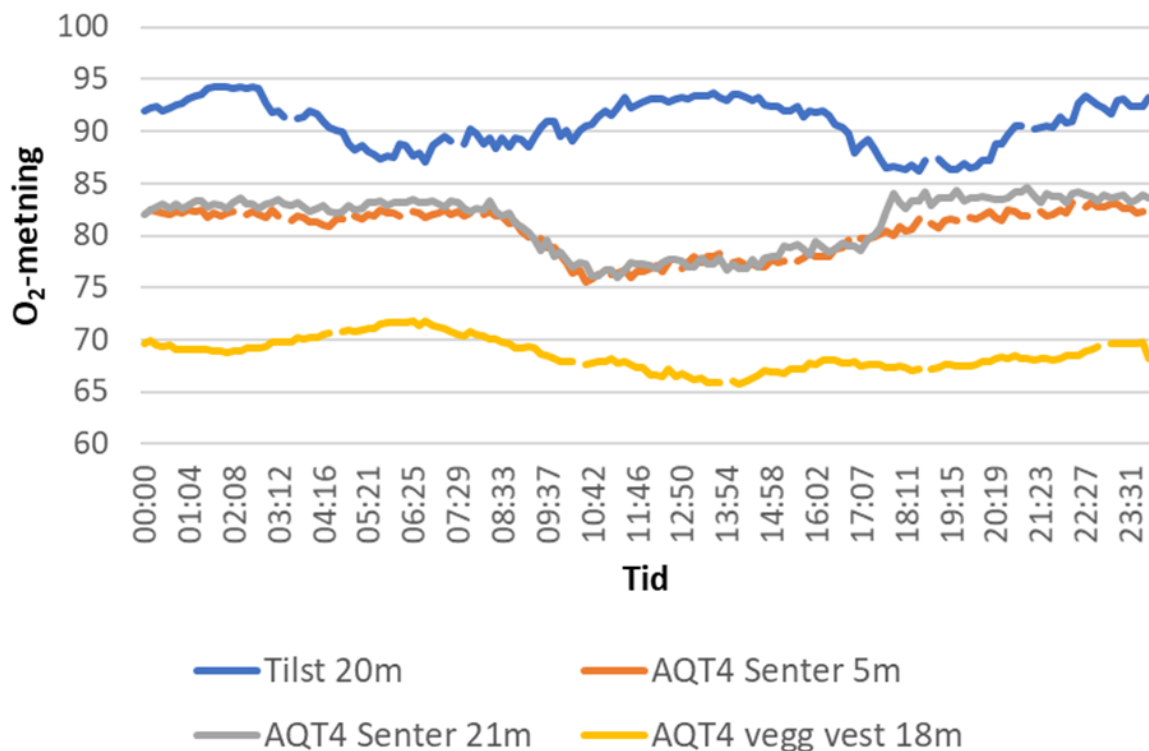
Det var ingen store forskjeller i gjennomsnittstemperatur mellom tilst, AQT4 og KTR, og temperaturen var gjennomgående noe mer stabil i AQT4 (figur 8.19 og 8.20).



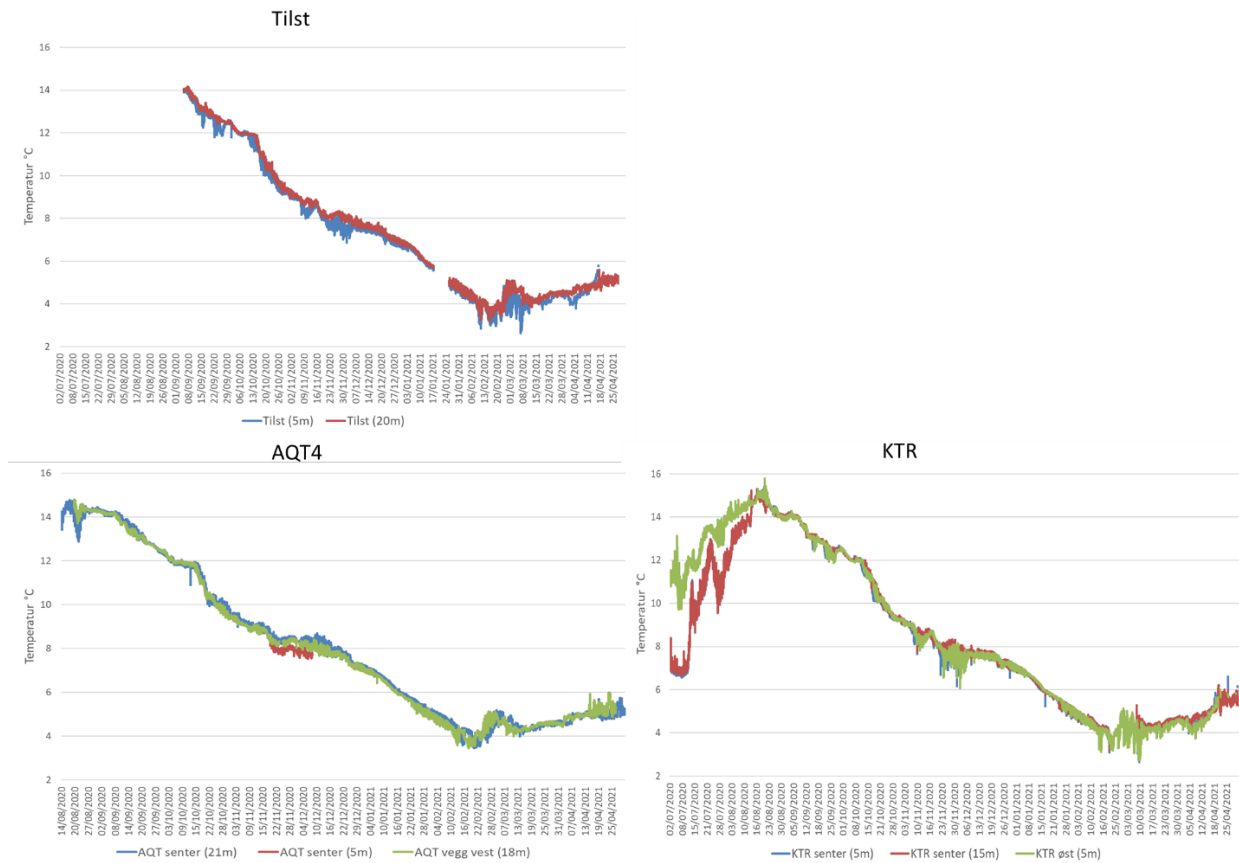
Figur 8.16: O₂-metning (i % av luftmetning) målt i A) Tilst, B) AQT4 og C) KTR fra 1. juli 2020 til 1. mai 2021. Merk at x-aksen starter på forskjellige datoer på de forskjellige målestasjonene og oransje felt indikerer tetthet over 25 kg/m³ i AQT4.



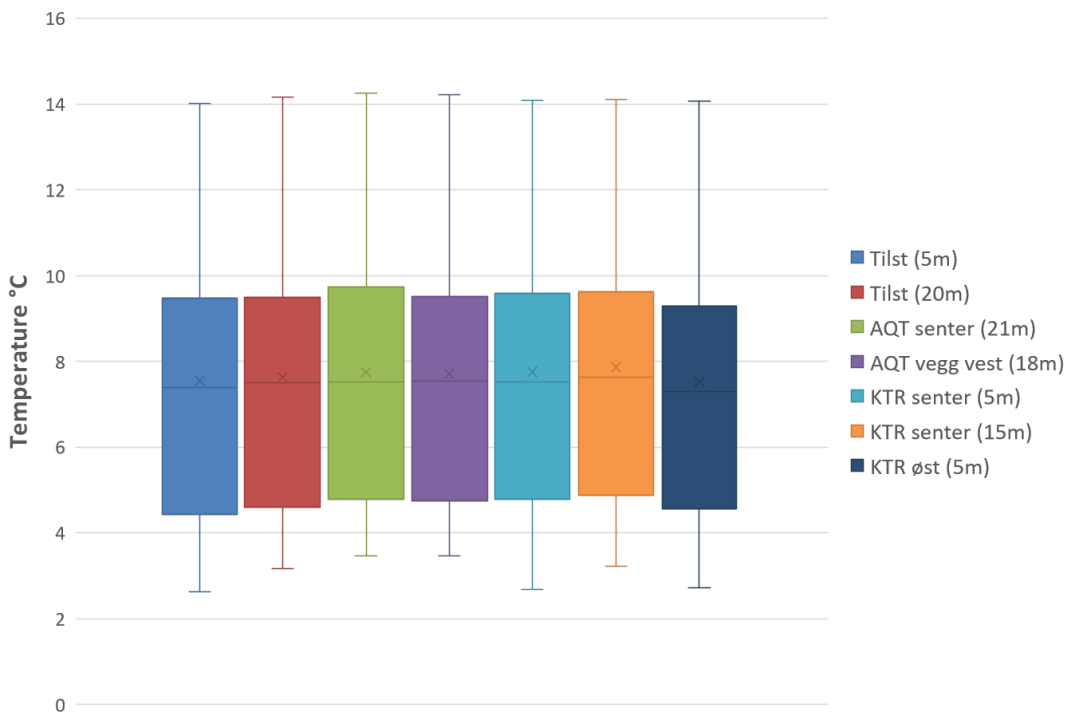
Figur 8.17: Boksplott O_2 -metning (i % av luftmetning) målt i AQT4 og KTR i perioden 6. september 2020 til 13. april 2021 (utvalgt ut fra at det var sensorer i drift i både AQT4 og KTR). Boksene omslutter intervallet 25 % - 75 % av målingene, medianverdier er vist med horisontal strek, middelværdi som et kryss.



Figur 8.18: Den gjennomsnittlige døgnvariasjonen i oksygenmetning (%) i perioden alle 3 sensorer plassert i AQT4 var i drift (19/11/2020-10/12/2020).



Figur 8.19: Temperatur (°C) målt i A) Tilst B) AQT4 og C) fra 1. juli 2020 til 1. mai 2021. Merk at x-aksen starter på forskjellige datoer på de forskjellige målestasjonene.



Figur 8.20: BoksploTT temperatur (°C) målt i AQT4 og KTR i perioden 6. september 2020 til 13. april 2021 (utvalgt ut fra at det sensorer var i drift i både AQT4 og KTR). Boksene omslutter intervallet 25 % - 75 % av målingene, medianverdier er vist med horisontal strek, middelværdi som et kryss.

8.5. Labanalyser vannkjemi

Vannkvalitetsparameterne pH, alkalitet, CO₂, total ammonium nitrogen (TAN), turbiditet, total organisk karbon (TOC) og total suspendert stoff (TSS) ble analysert på lab. Vannprøver for analyse av disse parameterne ble tatt med vannhenter fra 7 m dyp i AQT4 og KTR og på 20 m dyp i tilst. vann (dette skal representere inntaksvannet). Prøvene er tatt annenhver uke fra juli til oktober, og en gang per måned på vinteren (november til februar). Analysene ble utført av NIVA og Eurofins Environment Testing Norway AS i henhold til akkrediterte metoder. Prøvetakingsplanen ble stort sett fulgt bortsett fra at det ikke ble tatt ut prøver i desember. I tillegg ble noen prøver i juli/august sendt med vanlig post (ikke bedrift) og derfor ble analysene forsinket, dette gjelder særlig prøvene fra 26. august (parametere som kan ha blitt påvirket er markert i rødt i tabell 9.4).

Resultatene fra vannkjemianalysene er sammenfattet i tabell 9.4. Disse viser en god vannkvalitet med lave nivåer av fritt CO₂ og total ammonium nitrogen gjennom hele analyseperioden i både AQT4 og KTR. CO₂ var svært lav (maks 1,6 mg/L i AQT4 den 9. september). Det er hittil ingen tendens til økning av CO₂-konsentrasjon i takt med økt biomasse. Hvis man sammenligner inntaksvannet (tilst. vann) og AQT4 så har den maksimale økning i CO₂ konsentrasjon vært 0,9 mg/L, noe som indikerer en svært god vannutskiftning. Det er heller ingen tendenser til økt TAN med økt biomasse/tid, og andel nitrogen i giftig form (ammoniakk NH₃-N) var også lav på alle stasjonene (maks 1,43 µg N/L i AQT4 den 22. oktober; tabell 8.4). TOC og turbiditeten var lav, og TSS var stort sett rundt den nedre deteksjonsgrensen på 2 mg/L ved samtlige uttak. Samlet sett så er det ingen indikasjoner på akkumulering av metabolitter eller partikler i AQT4.

Tabell 8.4: Resultat fra vannkjemiske analyser fra lokaliteten Årsetfjorden i perioden juli 2020- april 2021. Parameterer som kan ha blitt påvirket av analyse forsinkelser den 26.8 er markert i rødt (*indikerer verdiene som er mest usikre).

Dato	Prøve	Temperatur (målt på anlegget) °C	Salinitet (ppt)	Turbiditet (FNU)	Alkalitet (mmol/L)	TAN (µg N/L)	pH (Eurofins 21 °C)	pH (temp. korrigert)	TSS (mg/L)	Totalt organisk karbon (TOC; mg C/L)	CO ₂ (mg/L)	Ammoniakk (µg N/L) **	kommentar
02.07.2020	tilst	11	33,8	0,27	2,14	18	7,9	8	<2	1,1	0,7	0,21	
	AQT4	7,1	34,1	0,47	2,10	28	8,1	8,3	<2	1,5	1	0,44	
	KTR	11	33,5	0,56	2,16	19	8,1	8,2	<2	1,5	1	0,36	
16.07.2020	tilst	9,6	31	0,33	2,12	4,5	8,1	8,3	2	1,4	0,8	0,08	temp fra sensor 5m
	AQT4	9,75	31,2	0,27	2,14	18	7,9	8,1	<2	1,1	1	0,21	temp fra sensor 5m
	KTR	11,8	31	0,47	2,10	28	8,1	8,2	<2	1,5	0,9	0,56	temp fra sensor 5m
29.07.2020	tilst	11	33,8	0,2	2,14	14	8,1	8,2	<2	1,4	0,8	0,26	
	AQT4	11	33,3	0,24	2,17	50	7,9	8	<2	1,4	1,2	0,59	
	KTR	13,8	33,1	0,31	2,14	97	7,9	8	<2	1,8	1,1	1,31	
12.08.2020	tilst	14,7	33	0,26	2,09	57	7,9	8	2,6	1,3	1*	0,80	CO2 estimert/flaske
	AQT4	14	33	0,3	2,09	39	7,9	8	2,3	1,2	1*	0,53	CO2 estimert/flaske
	KTR	14,7	33,1	0,26	2,09	57	7,9	8	2,6	1,3	1,3	0,80	
26.08.2020	tilst	14,3	31,6	0,41	2,16	82	7,9*		<2	1,1	1*	0,93	Forsinked analyse
	AQT4	14,3	33,6	0,24	2,22	110	7,8*		<2	1,5	1,5*	0,98	parametere som kan ha
	KTR	14,3	31,6	0,2	2,21	25	7,9*		<2	1,2	2,9*	0,28	påvirkets markert i rødt
09.09.2020	tilst	13,8	32,4	0,37	2,06	43	8	8,1	2,6	1,3	0,7	0,7	
	AQT4	14,1	32,7	0,69	2,09	150	7,7	7,8	6,2	1,9	1,6	1,3	
	KTR	13,8	32,4	0,25	2,06	54	8	8,1	3,2	1,4	0,8	0,9	
23.09.2020	tilst	12,5	28,3	0,39	1,99	37	8	8,1	<2	1,1	0,8	0,6	
	AQT4	12,8	28,9	0,33	2,02	51	7,9	8	3,3	1,5	0,8	0,7	
	KTR	12,7	29,9	0,4	1,98	63	7,9	8	<2	1,4	1,0	0,8	
08.10.2020	tilst	11,9	23,6	0,3	2,2	13	8	8,1	<2	1,1	0,9	0,2	
	AQT4	12,0	28,6	0,44	2,23	39	7,9	8	<2	1,4	1,4	0,5	
	KTR	12,0	28,6	0,41	2,29	60	7,9	8	<2	1,3	1,2	0,8	
22.10.2020	tilst	10,2	34,0	0,4	2,10	15	8	8,1	<2	1,7	0,8	0,22	
	AQT4	10,3	34,5	1,6	2,11	160	7,8	7,9	4,2	3,4	1,5	1,43	
	KTR	10,2	33,8	0,3	2,06	26	8	8,1	<2	1,6	0,9	0,37	
04.11.2020	tilst	9,1	34,2	0,45	2,12	50	7,9	8,1	<2	1	0,9	0,54	*For lite vann til
	AQT4	9,4	34,4	0,99	2,11	100	7,7	7,8	2,2	1,6	1,4	0,67	analysen har brukt
	KTR	9,1	34	0,9	2,12	54	7,8	8	2,3	1,3	1,2	0,46	gj.snitt.
20.11.2020	tilst	8,5	31	0,42	2,15*	7,6	8	8,2	<2	1	0,9	0,10	
	AQT4	8,8	31,1	0,46	2,16*	60	7,8	8,0	<2	1,6	1,1	0,52	
	KTR	8,7	30,8	0,39	2,16*	17	8	8,2	<2	1,2	1,0	0,24	
14.01.2021	tilst	8,1	34,9	0,31	2,18	20	7,9	8,1	3	1,2	1,2	0,44	
	AQT4	8	35,2	0,41	2,19	42	7,8	8	3,5	1,8	1,2	0,35	
	KTR	8,1	35,1	0,34	2,19	20	7,9	8,1	2,1	1,2	1	0,22	
17.02.2021	tilst	4,8	35,1	0,18	2,36	8,4	7,8	8	<2	1	1,1	0,1	
	AQT4	4,8	35,2	0,25	2,29	26	7,8	8	<2	1,3	1,1	0,2	
	KTR	4,8	35	0,16	2,36	13	7,8	8	<2	1,2	1	0,1	
17.03.2021	tilst	4,1	31,2	0,21	2,18	8,1	7,9	8,1	<2	1	1,1	0,07	
	AQT4	4,3	31,3	0,52	2,18	7,1	7,9	8,1	<2	0,9	1,4	0,06	
	KTR	4,1	30,9	0,29	2,16	40	7,9	8,1	<2	1,3	1,1	0,35	
24.03.2021	tilst	4,1	33,4	0,22	2,14	21	7,9	8,1	<2	1,6	1,2	0,18	
	AQT4	4,5	33,9	2,3	2,16	51	7,8	8,0	<2	2	1,4	0,35	
	KTR	4,4	33	0,29	2,14	30	7,9	8,1	<2	1,7	knust flaske	0,26	
08.04.2021	tilst	4,3	34	0,22	2,1	17	7,9	8,1	<2	1,1	1,0	0,15	
	AQT4	5	34,3	0,36	2,15	31	7,8	8,0	2,1	1,3	1,3	0,22	
	KTR	4,4	33,6	0,25	2,09	15	7,9	8,1	<2	1,3	0,9	0,13	
21.04.2021	tilst	6,1	34,6	0,3	2,14	31	7,9	8,1	<2	1,5	0,7	0,29	
	AQT4	5,1	34,5	0,27	2,17	11	7,9	8,1	<2	1,7	1	0,10	
	Ref merd	6,1	34,4	0,36	2,15	23	8	8,2	<2	1,7	knust flaske	0,27	

8.6. Dyreplankton/ lakselus i planktontrekk

Prøvene ble tatt som vertikale håvtrekk med en WP2 planktonhåv fra 18 m dyp til overflaten. Tre trekk ble slått sammen til en prøve på hver stasjon, og konservert med Lugols løsning. Antall luselarver funnet i prøvene er oppsummert i tabell 8.5. Prøvene fra 29 juli og 28 august 2020 var ikke ordentlig konservert (for lite Lugol), og var ganske råtne. Disse er ikke opparbeidet. Generelt ble det påvist svært få luselarver i Biologiprogram 3. Første funn var i prøve fra AQT4 den 23. september 2020.

Tabell 8.5: Antall luselarver (nauplius-larver og copepoditt-larver) funnet i vertikale håvtrekk i biologiprogram 3. Stjerner markerer prøver som hadde råtnet.

Nauplius larver				Copepoditter			
Dato	AQT4	KTR	Tilst	Dato	AQT4	KTR	Tilst
02.07.2020	0	0	0	02.07.2020	0	0	0
16.07.2020	0	0	0	16.07.2020	0	0	0
29.07.2020	*	*	*	29.07.2020	*	*	*
28.08.2020	*	0	*	28.08.2020	*	0	*
23.09.2020	1	0	0	23.09.2020	0	0	0
22.10.2020	0	1	0	22.10.2020	0	0	0
18.11.2020	0	0	0	18.11.2020	0	1	0
14.01.2021	2	2	0	14.01.2021	0	0	0
17.02.2021	1	0	0	17.02.2021	0	0	0
17.03.2021	2	1	1	17.03.2021	0	0	0
08.04.2021	1	1	1	08.04.2021	0	0	0

Bare en enkelt copepoditt-larve ble påvist i referansemerden 18 november 2020, denne kunne med sikkerhet identifiseres som lakselus. Nauplius-larver av lakselus og skottelus kunne ikke skilles fra hverandre med sikkerhet i de konserverte prøvene.

Den høyeste registrerte tettheten (2 larver pr. prøve) tilsvarer 0,084 larver pr. m³ i begge merdene. Basert på merdenes volum (52.000 m³ i AQT4, 39.200 m³ i KTR) tilsvarer dette vel 4.300 larver i AQT4, og vel 3.200 larver i KTR. I prøver fra tilstrømmende vann var antall luselarver generelt lavere, og ingen ble observert før mars 2021. Dette tyder på at larvene observert i merdene stammer fra lus som har reproduisert i merdene, mens tilførsel av larver utenfra har vært svært liten.

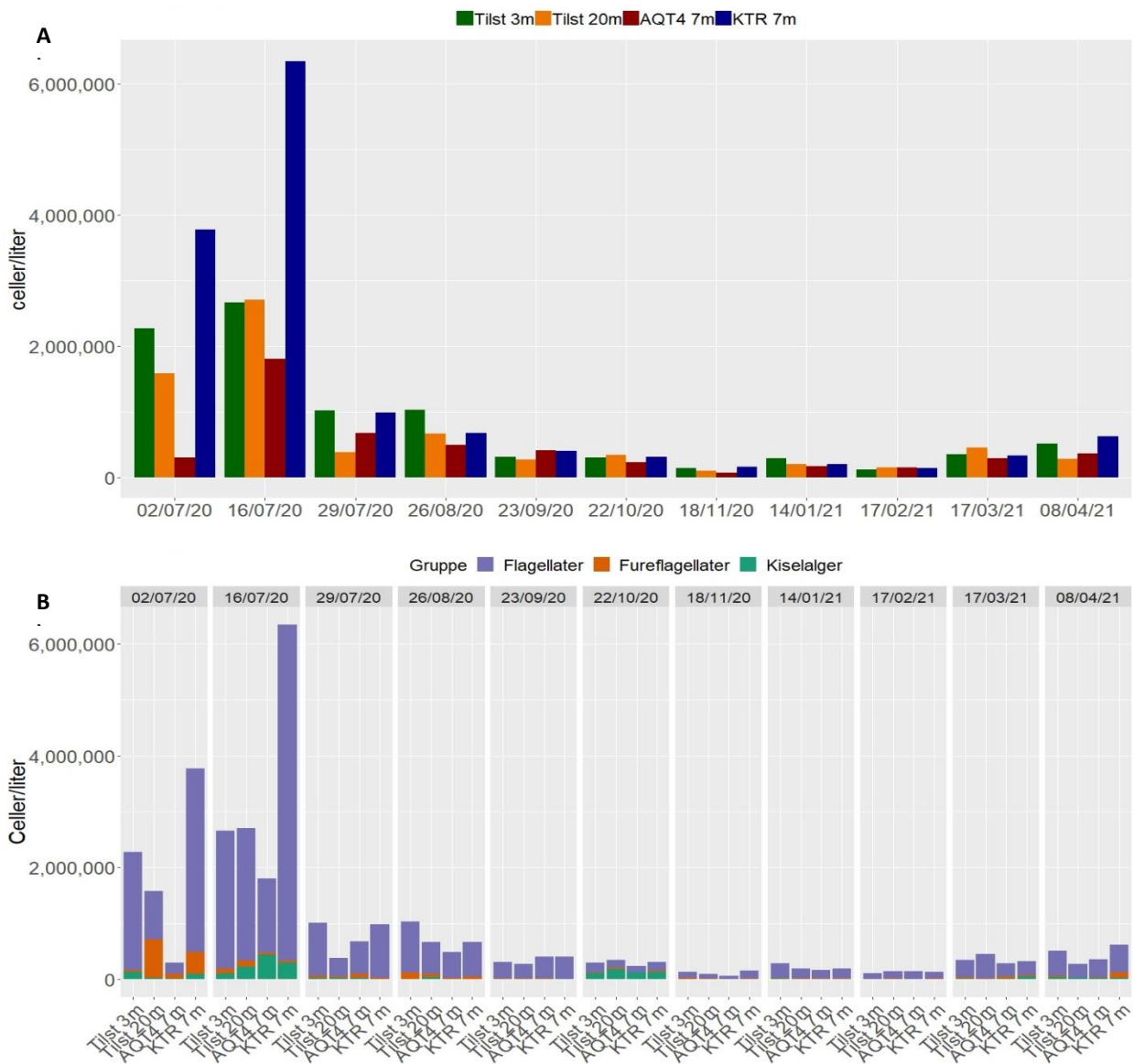
Prøvene inneholdt store mengder andre dyr, spesielt i sommermånedene. Dominerende var hoppekreps av mange slag (*Calanus finmarchicus*, *Calanus cf. glacialis*, *Acartia* spp., *Pseudocalanus* spp., *Paracalanus parvus*, *Centropages hamatus*, *Centropages typicus*, *Isias clavipes*, *Metridia lucens*, ubestemte Harpacticoida). Innslaget av vannlopper (*Evadne nordmanni*, *Podon leuckarti*) var mindre enn i Eiterfjorden (Biologiprogram 1). I noen prøver forekom pilormer (Chaetognatha) og små meduser (maneter), men det ble ikke observert høye tettheter av maneter. I tillegg til naupliuslarver av hoppekreps forekom mange larvestadier av diverse planktoniske og bunnlevende dyr hyppig (larver av reker, krabber, krill, pungreker, børstemark, slangestjerner, snegl, muslinger m.m.).

8.7. Mikroalger

Algeprøver ble tatt med vannhenter fra 3 og 20 m dyp i tilst. vann og fra 7 m dyp i AQT4 og KTR (tabell 8.1). Prøvetakingsplanen ble fulgt, bortsett fra at det ikke ble tatt ut prøver i desember 2020. Planktoniske alger kan påvirke fisk på ulike måter, enten ved å påføre mekaniske skader på gjellene eller ved at de produserer og skiller ut toksiner som virker negativt på gjellene (og/eller andre organer)

eller indirekte ved å påvirke O₂ konsentrasjon i vannet. Sistnevnte alternativ kan forekomme ved svært høy algebiomasse, hvor algenes fotosyntese kan gi høye konsentrasjoner på dagtid og deres respirasjon gi lave konsentrasjoner på natten. Prøvene er derfor blitt analysert for forekomster av kjente fisketoksiske og gjelleirriterende arter, samt totalforekomster på gruppenivå (kiselalger, fureflagellater og flagellater). Antallet algeceller var høyt i de to første prøvene, tatt i begynnelsen og midten av juli, men i slutten av prøvetaksperioden har det generelle antallet celler og biomassen vært svært lav (figur 8.21A). Både celleantallet og biomassen var dominert av ubestemte små flagellater (<5 µm) ved alle uttak på alle stasjoner (figur 8.21B).

Det ble observert noen få celler av kiselalgeartene *Skeletonema* spp. og *Chaetoceros* spp., dette hovedsakelig i prøvene fra midten av juli og oktober, i disse prøvene var også det totale antallet kiselalger høyere enn resten av perioden (figur 8.21B). Disse kiselalgeartene har stive glassbørster som stikker ut fra skallet, og har tidligere vært assosiert med gjelleskader hos laks (Kent et al. 1995). Imidlertid er disse artene svært vanlige i våroppblomstringen langs kysten og det er ikke trolig at de mengdene vi har sett i denne perioden har hatt skadelige effekter på fisken. Ingen bekymringsverdige mengder av kjente fisketoksiske algearter ble observert i perioden. Det er muligens en tendens til mindre alger i AQT4 sammenlignet med kontrollmerd (KTR) i juli (t-test var ikke signifikant p=0.1), men ellers er antallet alger og algesammensetning relativt lik mellom alle prøvetaksstasjonene (AQT4, KTR, Tilst. vann) i perioden.



Figur 8.21: A) Totalt antall celler (celler / liter) i prøvene fra stasjonene: tilstrømmende vann 3 m (grønn), tilstrømmende vann 20 m (oransje), AQT4 7 m (rød) og KTR 7m (blå) hele prøveperioden fra 02.07.20 til 08.04.21. B) Totalt antall celler (celler/liter) av hovedgruppene (Flagellater-blå, fureflagellater-oransje og kiselalger-grønn) på de ovennevnte stasjonene hele prøvetakingsperioden fra 02.07.20 til 08.04.21.

8.8. Konklusjoner vannmiljø

Samlet sett er dataene fra CTDO i samsvar med de fastmonterte sensorene. Fastmonterte sensorer gir en god oppløsning over tid, mens CTDO-data gir en bedre oppløsning med dybde og bedre innblikk i den totale hydrografien på lokaliteten. Resultatene viser at det har vært en systematisk høyere O_2 -metning i KTR sammenlignet med AQT4, men det skal huskes at AQT4 gjennomgående har hatt en høyere biomasse og høyere tetthet. Den største variasjonen og laveste O_2 -metningen både i AQT4 og KTR ble registrert om sensommeren/høsten. I perioden da fisketettheten var over 25 kg/m^3 i AQT4 var den gjennomsnittlige O_2 -metningen god og over 80 % metning, ingen tydelige dropp eller økt variasjon i O_2 -metning ble heller registrert i denne perioden. Det har vært en gjennomgående mer stabil temperatur og salinitet i AQT4 sammenlignet med KTR og tilst. vann (5 m), og saliniteten har vært høyere i AQT4. Dette indikerer at vannet som kommer inn i AQT4 kommer fra større dyp. De

vannkjemiske analysene viser svært lave nivåer av metabolittene CO₂ og NH₃-N gjennom hele BP3. I tillegg er det ikke noen indikasjoner på en økt partikkelbelastning i AQT4. Totalt sett viser resultatene en god vannkvalitet, men erfaring og resultater fra AQT4 viser at laksens aktivitet har en betydelig innvirkning på både strømningsbilde og vannutsiftning i merden. Dette trengs å tas i betraktning for videre utvikling og for å sikre god sirkulasjon og O₂-tilførsel ved høy biomasse i semi-lukkede anlegg.

Dyreplanktonprøver ble tatt med primært fokus på frittsvømmende larvestadier av lakselus. Generelt ble det påvist svært få luselarver i BP3. Totalt sett kun 7 nauplius larver i AQT4, og 5 i KTR i tillegg til en copepoditt i KTR. Det ble nesten ikke funnet lus i tilst. vann, noe som kan tyde på at de observerte larvene er produsert i merdene.

Mikroalgesamfunnet på lokaliteten Årsetfjorden fulgte den normale årlige arts- og gruppesammensetningen for norske kystområder. Konsentrasjonen av alger var høyest i juli 2020 ellers var konsentrasjonen lav og artssammensetningen lik mellom AQT4, KTR og tilst. vann gjennom hele perioden. Det er muligens en tendens til mindre alger i AQT4 sammenlignet med kontrollmerd (KTR) i juli 2020. Konsentrasjonen av arter som kan være skadelig eller giftige for fisk var svært lav i hele prøvetakingsperioden.

9. Produktkvalitet

9.1. Kvalitetsvurderinger

Av: Thomas Larsson, Arnaud Lefrancois, Nofima.

9.1.1. Formål og bakgrunn

For å avdekke effekten av strømsetting i Aquatraz på produktkvalitet, ble laks fra en konvensjonell nabomerd (Kontroll, KTR) og fra Aquatraz (AQT) sendt til Nofima, Ås for kvalitetsvurdering. Startuttak ble gjort like etter overføring av fisk til Aquatraz (30. juni 2020; da prøvefisken veide 0,6 kg i gjennomsnitt). Deretter ble det utført uttak ca. hver 2. måned frem til slakteuttak i april 2021.

9.1.2. Materiale og metode

For alle uttak ble 20 eller 30 (slakteuttak) sløyd og individmerket fisk, med tilhørende innvollspakke, per merdtype KTR og AQT4, sendt på is til Nofima. Ved ankomst til Nofima dagen etter slakt ble kjønn registrert og det ble tatt vekt og lengde av fisk, og vekt av innvollspakke. Slakteutbytte og kondisjonsfaktor (KF) ble beregnet. Det ble så tatt en generell vurdering av velferden til fisken (e.g. katarakt, skader på ryggfinne). Mengde innvollsfett og fett på hjerte og lever ble bedømt ved bruk av standardisert skala. Det samme ble gjort for farge på lever. Hjerte og lever ble veid, og indeks for disse ble beregnet (% av rund kroppsvekt).

Fisken ble så filetert for hånd, og filetutbytte av både rund- og sløydvekt ble beregnet. Begge fileter ble vurdert for mørke flekker ved bruk av FHF-skalaen (Mørkøre 2012). Fra venstre filet ble det tatt prøve av dorsal muskel til histologi (HE-farging), og norsk kvalitetssnitt (NKS) ble tatt til analyse av fettinnhold (%), ved "The one-shot method" utviklet av Anvendt Teknologi AS (Harstad Sørland et al. (2004)).

Høyre filet ble lagret på is til dag 7 post mortem, da visuell farge (PhotoFish; Folkestad et al., 2008), filetspalting (Andersen et al. 1994) og fasthet i muskel (instrumentelt, Mørkøre & Einen 2003) ble målt. Fasthet ble målt på to plasser: i dorsal del av NKS og av posisjon i forkant av ryggfinnen («ryggloin»), resultater presenteres som gjennomsnitt av de to hvis ikke annet angis.

Ved uttak ble blodprøver tatt til analyse av alanin aminotransferase (ALT), aspartat aminotransferase (AST) og kreatin kinase (CK). Økt aktivitet av disse enzymene kan fungere som indikator på celledskade i lever (ALT og AST) og muskel (AST og CK).

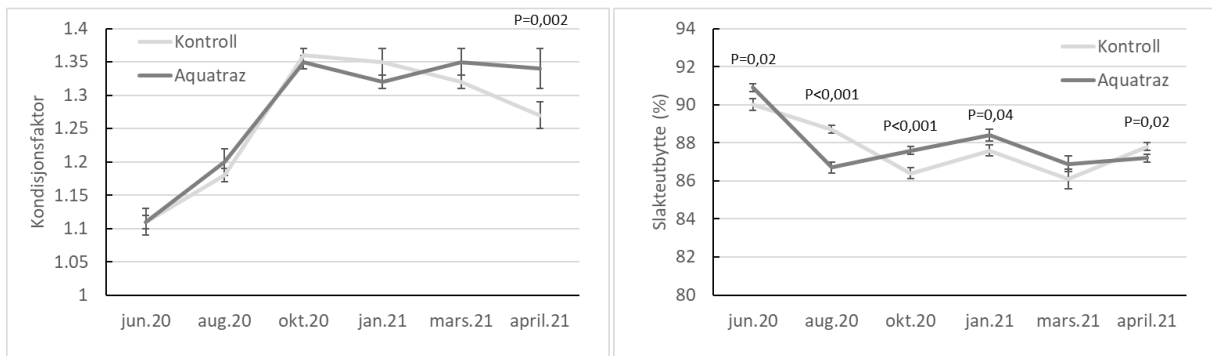
9.1.3. Resultater

Resultater fra alle uttak er oppsummert i tabell 9.1.

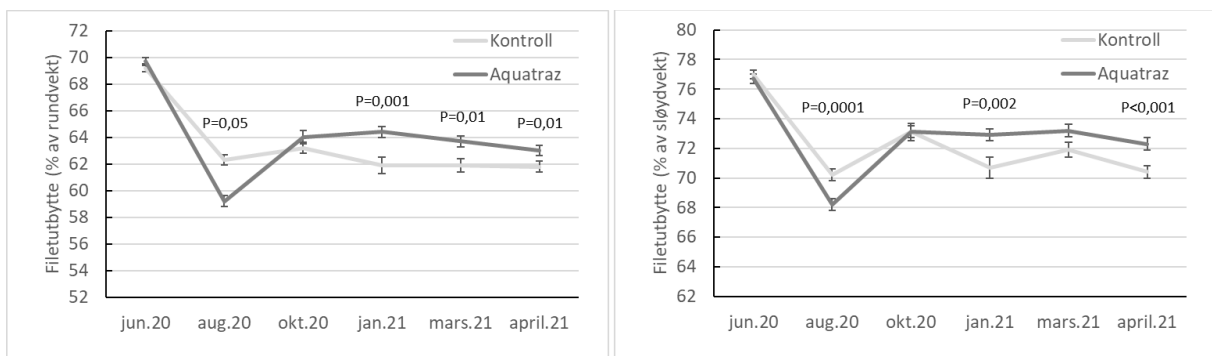
Fisk i AQT-merden vokste saktere enn de i KTR-merden (se kapittel 4), noe som resulterte i en forskjell i sluttvekt på fisk fra de to gruppene sendt til kvalitetsanalyse på 0,36 kg (KTR: 4,75 kg, AQT: 4,39 kg). Denne forskjellen skaper noen utfordringer relatert til tolkning av resultater siden størrelsen på fisken har stor innvirkning på flere kvalitetsparametere. Signifikant effekt av størrelse ble korrigert for i statistikken, men diskuteres også fortløpende i kapittelet, spesielt med tanke på en eventuell videre produksjon av AQT-fisken til slaktestørrelse.

Begge fiskegrupper hadde lignende kondisjonsfaktor frem til siste uttak, da fisken fra AQT hadde, etter korrigering for forskjeller i fiskestørrelse, signifikant rundere fasong enn KTR. Uten korreksjon var

forskjellen ikke signifikant ($P=0,08$). Slakteutbytte varierte mer, der fisken fra KTR-merden hadde noe høyere utbytte ved det siste uttaket, selv om forskjellen var liten (0,6 %-poeng, figur 9.1). Det var ingen systematisk sammenheng mellom fiskestørrelse (rundvekt) og slakteutbytte (data ikke vist), derfor forventes det ikke økt slakteutbytte av en eventuell videre produksjon av AQT-fisken til lik slaktestørrelse som KTR. Bilde av slakteutbytte samsvarte generelt med filetutbytte; AQT-fisken hadde signifikant høyere filetutbytte enn KTR ved de tre siste uttakene. (figur 9.2); dette så ut å forklares av kombinert trend av kondisjonsfaktor og slakteutbytte. Det var også for filetutbytte ingen systematisk effekt av fiskestørrelse; derfor ansees det som realistisk å forvente fortsatt økt filetutbytte ved videre produksjon.



Figur 9.1: Kondisjonsfaktor og slakteutbytte av fisken sendt til kvalitetsanalyse.

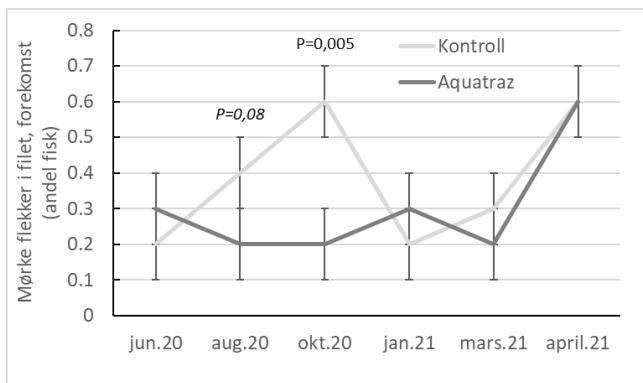


Figur 9.2: Filetutbytte (% av rundvekt og av sløydvekt) av fisken sendt til kvalitetsanalyse.

Generelt hadde begge fiskegrupper lave og/eller normale score for katarakt, slitasje på ryggfinne, synlig fett på hjerte og innvoller og leverfarge, og det var ingen tydelige systematiske forskjeller mellom gruppene. Aquatraz-fisken tenderte dog til å ha noe lavere nivå av fettakkumulering på hjerte (Tabell 9.1). Se kapittel 4 samt vedlegg for mer komplette resultater på velferdsscore.

Den relative størrelsen av lever (HSI) varierte mer hos AQT-fisken enn hos KTR, og var signifikant lavere for AQT i januar 2021, men signifikant høyere ved avslutning i april 2021. I januar samsvarte mindre lever hos AQT-fisken med signifikant høyere nivå av både ALT og AST i blod, men det er uvisst om enzymnivåene er unormalt høye eller ikke, og om de var resultatet av vevskade. Det var imidlertid ingen histologiske forskjeller i levervevet som kunne forklare dette (vurdert under kapittel 8). Det er interessant å notere seg at utviklingen i HSI for begge grupper ligner mønsteret til fasthet i muskel (se under), men det er uklart om det er noen direkte sammenheng mellom de to.

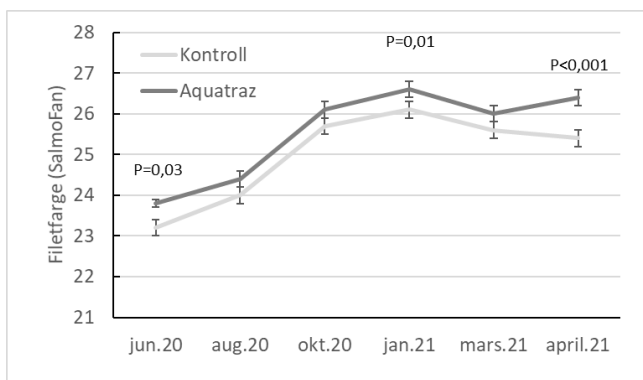
Forekomsten av mørke flekker i filet var 34 % totalt sett for begge grupper, over alle uttak; KTR-fisken tenderte å ha noe høyere forekomst (38 vs. 30 %), men dette var ikke signifikant ($P = 0,21$). Dog hadde fisken i de to forskjellige merdtypene ulik utvikling, med en kraftig økt forekomst i KTR-gruppen i august og oktober 2020 (Figur 9.3). Grunnen til dette er uklar.



Figur 9.3: Forekomst av mørke flekker i filet (andel fisk) registrert på fisken sendt til kvalitetsanalyse.

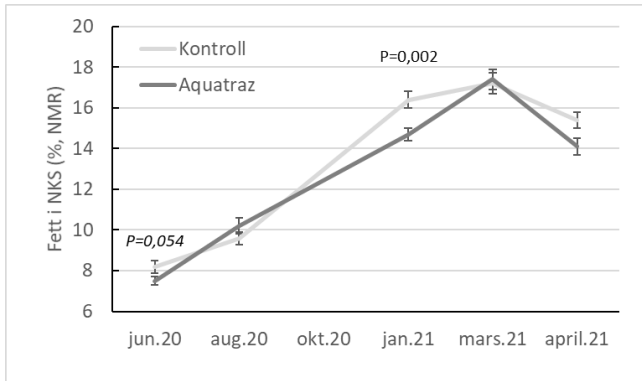
Filetfargen økte fra ca. 23-24 SalmoFan-poeng i juni til ca. 26 i januar. Deretter viste KTR-fisken en nedadgående trend frem mot slakt (25,4 SalmoFan-poeng), mens AQT-fisken holdt en relativt stabil filetfarge frem til siste uttak (26,6 SalmoFan-poeng). AQT-fisken lå konsekvent ca. 0,5 til 1 SalmoFan-poeng høyere enn Kontroll-fisken, og forskjellen var signifikant totalt sett ($P < 0,0001$) i tillegg til i januar 2020 og ved sluttuttak (Figur 9.4). Den relativt store forskjellen ved siste uttak (1 SalmoFan-poeng) tilsier at AQT-fisken ville ha god rødfarge sammenlignet med KTR også ved videre produksjon av AQT-fisken, siden det ikke var en tydelig sammenheng mellom størrelse på fisken og filetfarge gjennom produksjonsperioden i programmet (data ikke vist).

Noe overaskende var forskjellen mellom gruppene mht. filetfarge også signifikant ved startuttaket i juni; det har ikke blitt funnet noen forskjeller i fôr, genetikk, produksjonsbetingelser (fersk- eller sjøvann) eller uttaksrutiner som tilsier at gruppene skulle ha forskjellige utgangspunkt ved oppstart av forsøket.



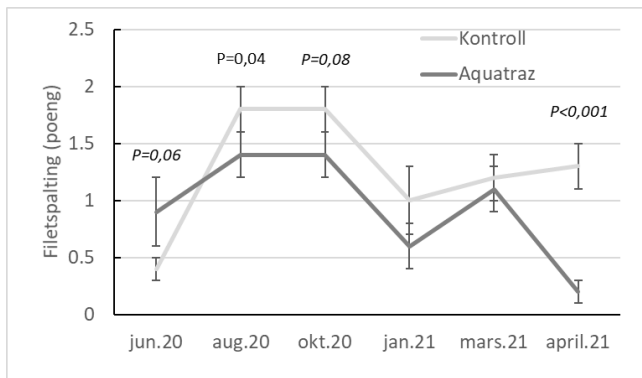
Figur 9.4: Filetfarge (SalmoFan) hos fisken sendt til kvalitetsanalyse.

Fettinnholdet i muskelen var generelt lignende for de to gruppene, selv om AQT-fisken hadde signifikant lavere fettinnhold enn KTR i januar (14,7 vs. 16,4 %, figur 9.5). Resultatene tilsier at fisk fra AQT deponerte mindre fett i muskel i løpet av høsten. Sett sammen med trendene i slakteutbytte og fettakkumulering på hjerte og innvoller, kan det tenkes at Aquatraz-merden har hatt innvirkning på utnyttelse og deponering av fett i perioden med høy fettdeponering. Om dette kan være en effekt av til tider lavere vanntemperatur i AQT-merden sammenlignet med KTR-merden, og/eller høyere svømmeaktivitet på grunn av strømsetting i Aquatraz-merden, er vanskelig å si. Ved siste uttak hadde fisken fra AQT numerisk lavere fettinnhold enn de fra KTR, men pga. forskjeller i størrelse var dette ikke signifikant; sterk effekt av størrelse på fettinnhold innebærer mest sannsynlig at videre produksjon av AQT vil lede til redusert forskjell mellom fisk fra de to merdtypene.

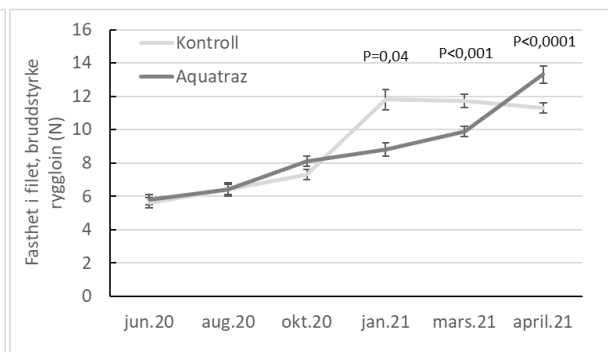
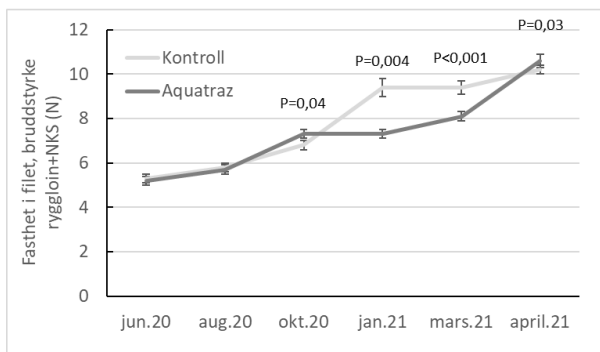


Figur 9.5: Fettinnhold (%) i muskel av fisken sendt til kvalitetsanalyse. For uttaket i oktober ble fettinnhold ikke analysert.

AQT-fisken hadde generelt lavere nivå av filetspalting enn KTR-fisken ($P = 0,001$ for hele perioden), og forskjellen var signifikant i august, oktober og ved siste uttak (figur 9.6). KTR-gruppen hadde også flere fisk med spalting som anses problematisk (> 2 poeng), totalt 15 vs. 5 % av fisken for hele perioden (data ikke vist). For fastheten i fileten var bilde noe motsatt, der filetene til AQT-fisken hadde signifikant lavere bruddstyrke sammenlignet med KTR-fisken i januar og mars, men signifikant fastere muskel ved siste uttak, spesielt ved måling i den tykkeste delen av fileten («ryggloin», figur 9.7). Mot slutten av produksjonen (mars og april) var det ingen fisk i noen av gruppene som hadde bruddstyrke i fileten som indikerer bløt muskel (< 7 N, Mørkøre (2008)). Undersøkelser fra histologi (se kapittel 4) viste få funn og kunne ikke forklare forskjellene mellom gruppene mht. fasthet i muskel. Mindre fast muskel hos AQT-fisken i januar samsvarte med signifikant høyere nivå av AST, uten at enzymnivået i blodet ser ut å være resultatet av skade i muskel (se kapittel 5).



Figur 9.6: Filetspalting (poeng, 0-5) av fisken sendt til kvalitetsanalyse



Figur 9.7: Fasthet i muskel (bruddstyrke, N), som gjennomsnitt av begge målinger (ryggloin+NKS), og som enkeltmåling på ryggloin, av fisken sendt til kvalitetsanalyse.

Tabell 9.1a: Oppsummering av resultater fra kvalitetsvurdering av 20 (30 ved siste uttak) laks per merdtype Kontroll (KTR) og Aquatraz (AQT) i Biologiprogram for AG3, for uttak utført i 2020 (se neste tabell for uttak i 2021). P-verdier er vist når $p < 0,1$ (kursiv stil), og resultater ansees signifikant når $p < 0,05$.

Parameter	jun.20			aug.20			okt.20		
	KTR	AQT	p-verdi	KTR	AQT	p-verdi	KTR	AQT	p-verdi
Rundvekt (kg)	0.6±0.01	0.61±0.02	ns	1.31±0.03	1.17±0.02	ns	2.62±0.06	2.25±0.05	ns
Sløydvekt (kg)	0.54±0.01	0.55±0.01	ns	1.16±0.02	1.02±0.02	ns	2.26±0.05	1.97±0.04	ns
Lengde (cm)	37.8±0.3	37.9±0.3	ns	48±0.3	46.1±0.3	ns	57.7±0.4	55±0.4	ns
Kondisjonsfaktor (rundvekt)	1.11±0.02	1.11±0.01	ns	1.18±0.01	1.2±0.02	ns	1.36±0.01	1.35±0.01	ns
Slakteutbytte (%)	90±0.3	90.9±0.2	0.019	88.7±0.2	86.7±0.3	0.0001	86.4±0.3	87.6±0.2	0.0003
Katarakt, sum (skala 0-4 poeng)	0.2±0.1	0±0	0.02	0.4±0.2	0.5±0.2	0.018	0.1±0.1	0±0	ns
Ryggfinne (0-4 poeng)	1±0.1	1.2±0.1	ns	1±0	1.1±0.1	ns	1.1±0	1.3±0.1	0.007
Skjelltap (0-3 poeng)	1.6±0.2	1.1±0.2	0.038	0.7±0.1	0.9±0.1	ns	1.7±0.1	1.7±0.1	ns
Synlig fett på hjerte (0-2 poeng)				0±0	0±0	ns			
Synlig fett på innvoller (0-5 poeng)	0.7±0.1	0.7±0.1	ns	1.1±0.1	1.2±0.1	ns	1.2±0.1	1.3±0.1	ns
Leverfarge (0-5 poeng)	3.2±0.1	3.1±0.1	ns	3±0.1	2.9±0.1	ns	1.8±0.1	1.9±0.1	ns
Levervekt (% av rundvekt, HSI)	1.06±0.03	1.07±0.02	ns	1.03±0.03	1.07±0.03	ns	1.24±0.03	1.15±0.03	0.0819
Hjertevekt (% av rundvekt, CSI)	0.128±0.003	0.14±0.002	0.0026	0.133±0.003	0.134±0.007	ns	0.141±0.002	0.142±0.006	ns
Filetutbytte (% av rundvekt)	69.2±0.3	69.7±0.3	ns	62.3±0.4	59.2±0.4	0.0001	63.2±0.4	64±0.5	ns
Filetutbytte (% av sløydvekt)	77±0.3	76.7±0.3	ns	70.2±0.4	68.2±0.4	0.05	73.1±0.4	73.1±0.6	ns
Filetspalting (poeng)	0.4±0.1	0.9±0.3	0.06	1.8±0.2	1.4±0.2	0.0438	1.8±0.2	1.4±0.2	0.08
Mørke flekker i filet, forekomst	0.2±0.1	0.3±0.1	ns	0.4±0.1	0.2±0.1	0.08	0.6±0.1	0.2±0.1	0.005
Mørke flekker i filet (poeng)	0.2±0.1	0.3±0.1	ns	0.5±0.2	0.3±0.2	0.09	1.1±0.3	0.6±0.4	0.01
Filetfarge (SalmoFan Photofish)	23.2±0.2	23.8±0.1	0.0344**	24±0.2	24.4±0.2	ns	25.7±0.2	26.1±0.2	ns
Astaxanthin i NKS (Photofish, mg/kg, 10 fisk)	4±0.2	4.4±0.1	0.0336**	4.6±0.1	4.9±0.2	ns	5.9±0.1	6.2±0.1	ns
Fett (Photofish, %)	12.5±0.3	12.3±0.3	ns**	14.4±0.4	14.3±0.2	ns**	15.2±0.4	15.9±0.2	0.01
Fett i NKS (% , NMR)	8.2±0.3	7.5±0.2	0.054*	9.6±0.3	10.2±0.4	ns			
Fasthet i filet, bruddstyrke ryggloin (N)	5.6±0.3	5.8±0.3	ns	6.4±0.3	6.4±0.4	ns	7.3±0.3	8.1±0.3	ns
Fasthet i filet, NKS (bruddstyrke, N)	4.9±0.1	4.6±0.1	0.09	5.1±0.1	5.1±0.1	ns	6.3±0.1	6.6±0.1	ns
Fasthet i filet, bruddstyrke ryggloin+NKS (N)	5.3±0.2	5.2±0.2	ns	5.8±0.2	5.7±0.2	ns	6.8±0.2	7.3±0.2	0.04
ALT	4±0.2	4.7±0.2	0.013	3.3±0.4	4.8±1	ns	21.7±8.2	16.9±2.7	ns
AST	212.5±18.7	229.6±16.4	ns	262.6±21.2	710±445.5	ns	2773.6±1646	1278.5±234	ns
CK	2156±397	3258±694	ns	2344±370	4965±1772	ns	211697±174749	13785±1777	ns

* Korrigeret for signifikant effekt av rundvekt

** Korrigeret for signifikant effekt av kjønn

Tabell 91b: Oppsummering av resultater fra kvalitetsvurdering av 20 (30 ved siste uttak) laks per merdtype Kontroll (KTR) og Aquatraz (AQT) i Biologiprogram for AG3, for uttak utført i 2021 (se forrige tabell for uttak i 2020). P-verdier er vist når $p < 0,1$ (kursiv stil), og resultater ansees signifikant når $p < 0,05$.

Parameter	jan.21			mar.21			apr.21		
	KTR	AQT	p-verdi	KTR	AQT	p-verdi	KTR	AQT	p-verdi
Rundvekt (kg)	3.49±0.09	3.06±0.05	0.001**	4.46±0.1	3.98±0.09	0.0004**	4.75±0.11	4.39±0.12	0.0129**
Sløydvekt (kg)	3.06±0.08	2.7±0.05	0.003**	3.84±0.09	3.46±0.08	0.0027	4.17±0.1	3.82±0.1	0.007**
Lengde (cm)	63.7±0.6	61.4±0.4	0.012**	69.7±0.5	66.4±0.4	<0.0001	72±0.6	68.9±0.5	<0.0001**
Kondisjonsfaktor (rundvekt)	1.35±0.02	1.32±0.01	ns	1.32±0.01	1.35±0.02	ns	1.27±0.02	1.34±0.03	0.0022*
Slakteutbytte (%)	87.6±0.3	88.4±0.3	0.0346	86.1±0.5	86.9±0.4	ns	87.8±0.2	87.2±0.2	0.0163**
Katarakt, sum (skala 0-4 poeng)	0±0	0±0	ns	0±0	0.2±0.1	ns	0.7±0.2	0.2±0.1	ns
Ryggfinne (0-4 poeng)	1.3±0.1	1.2±0.1	0.051	1.3±0.1	1.2±0.1	ns	0.6±0.1	0.9±0.1	0.02
Skjelltap (0-3 poeng)	1.6±0.1	1.2±0.1	0.004	1.3±0.1	0.9±0.1	0.002	0.4±0.1	1±0.1	0.0037
Synlig fett på hjerte (0-2 poeng)	0.3±0.2	0±0	0.04	0.5±0.2	0.1±0.1	0.0348			
Synlig fett på innvoller (0-5 poeng)	2.5±0.2	1.7±0.2	0.002	1.6±0.2	2.2±0.2	0.0145	2.8±0.1	2.9±0.1	ns
Leverfarge (0-5 poeng)	3±0.1	2.7±0.2	ns	2.7±0.1	2.6±0.1	ns	2.9±0.1	2.9±0.1	ns
Levervekt (% av rundvekt, HSI)	1.26±0.05	1.06±0.02	0.0002	1.27±0.04	1.27±0.05	ns**	1.26±0.03	1.43±0.05	0.0157
Hjertevekt (% av rundvekt, CSI)	0.135±0.003	0.14±0.003	ns	0.137±0.006	0.142±0.004	ns	0.134±0.003	0.129±0.002	ns**
Filetutbytte (% av rundvekt)	61.9±0.6	64.4±0.4	0.002	61.9±0.5	63.7±0.4	0.0114**	61.8±0.4	63±0.4	0.01**
Filetutbytte (% av sløydvekt)	70.7±0.7	72.9±0.4	0.001	71.9±0.5	73.2±0.4	ns**	70.4±0.4	72.3±0.4	0.0003**
Filetpalting (poeng)	1±0.3	0.6±0.2	ns	1.2±0.2	1.1±0.2	ns	1.3±0.2	0.2±0.1	<0.0001
Mørke flekker i filet, forekomst	0.2±0.1	0.3±0.1	ns	0.3±0.1	0.2±0.1	ns	0.6±0.1	0.6±0.1	ns
Mørke flekker i filet (poeng)	0.8±0.5	0.5±0.2	ns	0.6±0.2	0.3±0.2	ns	0.9±0.2	1.5±0.4	ns
Filetfarge (SalmoFan Photofish)	26.1±0.2	26.6±0.2	0.013*	25.6±0.2	26±0.2	ns*	25.4±0.2	26.4±0.2	0.0002
Astaxanthin i NKS (Photofish, mg/kg, 10 fisk)	6.2±0.2	6.6±0.2	0.013*	5.8±0.1	6.2±0.2	ns*	5.7±0.1	6.5±0.1	0.0017*
Fett (Photofish, %)	18.2±0.3	17.6±0.3	ns*	19.2±0.4	18.7±0.2	ns	17.4±0.2	17.6±0.2	ns
Fett i NKS (% NMR)	16.4±0.4	14.7±0.3	0.002	17.2±0.5	17.4±0.5	0.0417*	15.4±0.4	14.1±0.4	0.4855*
Fasthet i filet, bruddstyrke ryggloin (N)	11.8±0.6	8.8±0.4	0.04*	11.7±0.4	9.9±0.3	0.0008	11.3±0.3	13.3±0.5	<0.0001*
Fasthet i filet, NKS (bruddstyrke, N)	7.5±0.3	6.1±0.1	<0.0001	7.1±0.2	6.2±0.1	0.0019	9.1±0.2	8±0.2	0.0009
Fasthet i filet, bruddstyrke ryggloin+NKS (N)	9.4±0.4	7.3±0.2	0.004*	9.4±0.3	8.1±0.2	0.0004	10.2±0.2	10.6±0.3	0.0304*
ALT	6.9±1	14.1±2.2	0.009	0.8±0.2	0.6±0.3	ns	3.9±0.3	4.1±0.4	ns
AST	553.3±112.2	686.4±69.9	0.016*	176.4±15.4	225.1±28	ns	338.1±37.6	426.9±75.9	ns
CK	4246±1342	5424±476	ns	1017±415	1321±453	ns	9620±2426	10067±3635	ns

* Korrigeret for signifikant effekt av rundvekt

** Korrigeret for signifikant effekt av kjønn

9.2. Slaktedata

Av: Torolf Storsul, veterinær, Aqua Kompetanse AS

9.2.1. Formål og bakgrunn

Ved slakt blir hvert enkelt individ vurdert og sortert til en kvalitetsklasse, i tillegg gjør slakteriet såkalte hundrefiskkontroller, som regel tre ganger hver slaktedag. Ved hundrefiskkontrollene blir årsaker til nedklassing vurdert. Til sammen gir dette verdifull informasjon om en del tilstander i populasjonen, og kan ses i sammenheng med andre registreringer som for eksempel velferdsscoreing.

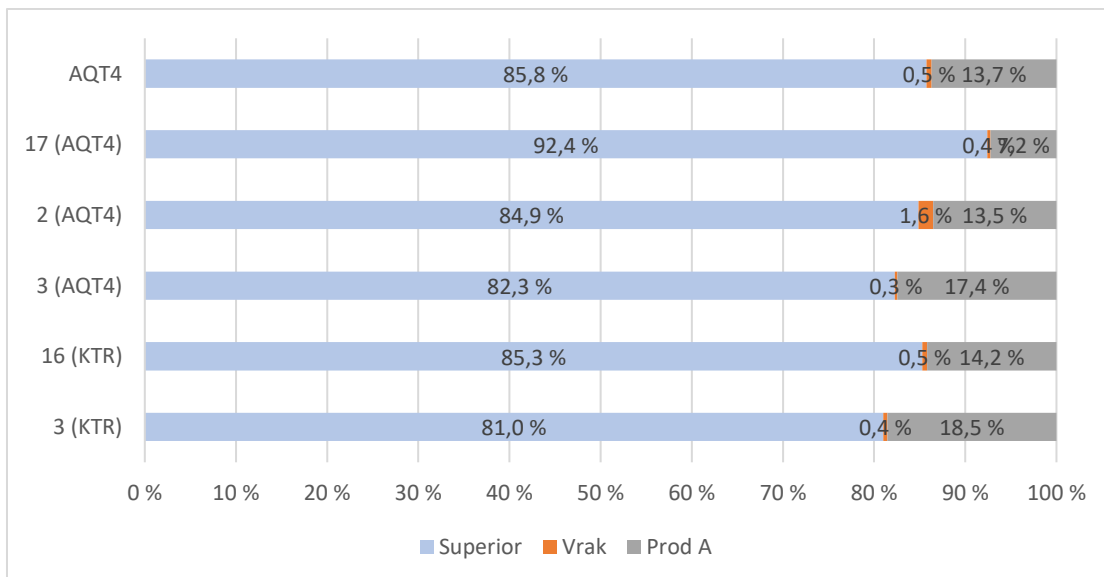
9.2.2. Metodikk

Slaktedata er hentet fra produksjonsstyringssystemet Fishtalk, og hundrefiskkontroller er hentet fra slakteriets egne registreringssystemer.

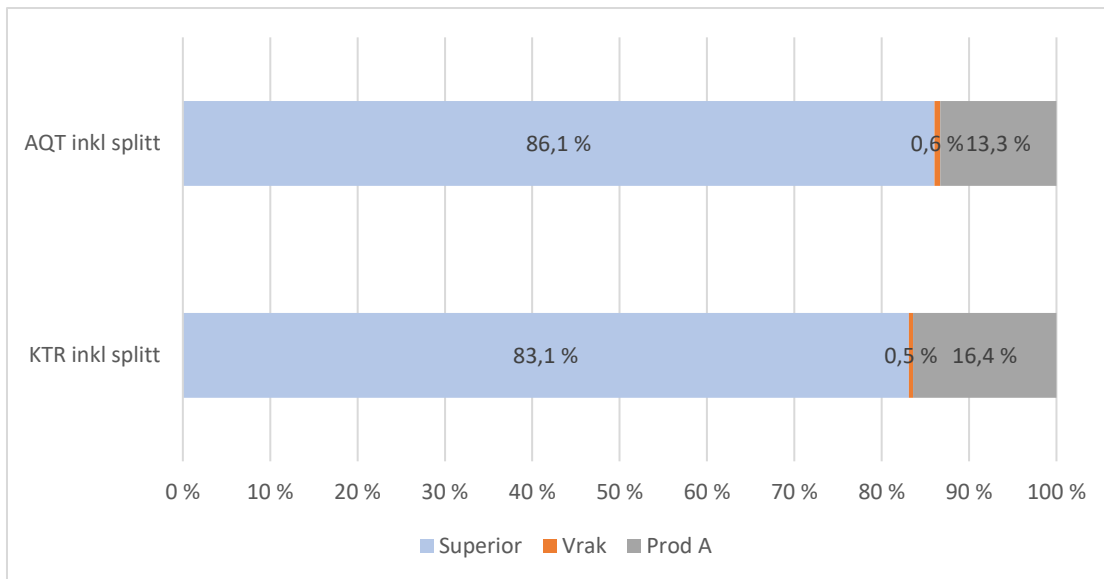
Ved enkelte slaktedager har det vært utført hundrefiskkontroller på tidspunkt hvor det pågikk slaktning fra andre merder enn de som er omfattet av denne rapporten, og noen slaktedager har det vært utført færre hundrefiskkontroller enn vanlig. Av den grunn vil tallgrunnlaget for de aktuelle merdene og slaktedagene variere noe.

9.2.3. Resultater

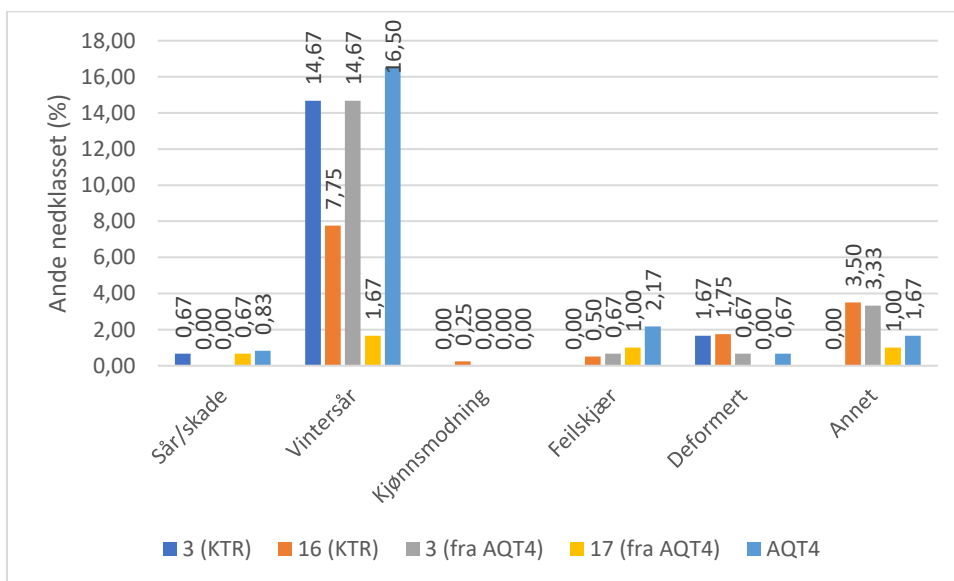
Klassifisering ved slakt for hver enkelt merd og for gruppene AQT4 med splittings og KTR med splitting er vist som andeler av antall slaktede fisker i figur 9.8 og 9.9. Årsaker til nedklassing registrert ved hundrefiskkontroller er beskrevet i figur 9.10.



Figur 9.8: Klassifisering ved slakt fra AQT4 og merder splittet fra AQT4, samt KTR som var splittet i to merder. Andeler av antall fisk slaktet og klassifisert i de tre kategoriene superior, produksjon A og vrak.



Figur 9.9: Klassifisering ved slakt for hver av gruppene om man ser AQT4 og de tre merdene det ble splittet til under ett, og de to merdene med KTR og den merden det ble splittet til under ett. Andeler av antall fisk slaktet og klassifisert i de tre kategoriene superior, produksjon A og vrak.



Figur 9.10: Andel av antall fisk nedklasset og fordelt på ulike årsakskategorier ved hundrefiskkontroller. Antall fisk i hundrefiskkontrollene totalt er: M3 (KTR): n=300, M16 (KTR): n= 400, M3 (fra AQT4): n=300, M17 (fra AQT4): n= 300, AQT4: n= 600.

9.2.4. Diskusjon

Det er små forskjeller mellom gruppene fra AQT4 og KTR, og for begge gruppene er det en ikke ubetydelig andel nedklassing. Hovedårsaken til nedklassingen er sår, og det er stor likhet mellom gruppene også med hensyn til nedklassingsårsaker. På merdnivå skiller merd 17 seg positivt ut mens det ellers er små ulikheter.

Sårdiagnoser er hovedårsak til nedklassing, og hovedinntrykket ved slakt samsvarer således med velferdsscoringer og registrerte dødelighetsårsaker.

Det er ingen tydelige systematiske forskjeller mellom gruppene, og det er i dette datamaterialet ingen tydelige mønster som peker mot at AQT4 har gitt dårligere eller bedre klassifisering ved slakt enn konvensjonell merd.

På grunn av at den praktiske delen av biologiprogrammet ble avsluttet da KTR (M3) ble transportert inn til slakt i april 2021, ble det ikke utført velferdsscoringer videre på fisk fra AQT4 fram til den gruppen ble slaktet i juli 2021. Dette gjør at man har begrenset grunnlag for å sammenlikne velferdsscore i sjø med nedklassingsresultater ved slakt, slik som det ble gjort i biologiprogram 2 samt i tetthetsprogrammet på Kyrøyene. Siste velferdsscoreing på KTR (M3) ble også utført på kun 30 individer og ga ikke svært godt samsvar med nedklassing ved slakt. Trolig må man øke antallet individer for velferdsscoreing for å bedre samsvaret mellom velferdsscoreing i felt og nedklassing ved slakt.

10. Referanser

- Andersen UB, Strømsnes AN, Steinsholt K and Thomassen MS (1994) Fillet gaping in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) Norwegian Journal of Agricultural Sciences, 8: 165-179
- Aunsmo, 2009. Health related losses in sea farmed Atlantic salmon - quantification, risk factors and economic impact. PhD thesis, Norwegian School of Veterinary Science.
- Aunsmo A., Valle PS, Sandberg M, Midtlyng PJ, Bruheim T, 2010. Stochastic modelling of direct costs of pancreas disease (PD) in Norwegian farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L). Preventive Veterinary Medicine 93: 233-241
- Bjerkås E, Holst J C, Bjerkås I, Ringvold A (2003): Osmotic cataract causes reduced vision in wild Atlantic salmon postsmolts. Diseases of aquatic organisms vol. 55: 151–159, 2003
- Bruno D W, Noguera P A, Poppe T (2013): A colour atlas of salmonid diseases. Springer science+business media B.V. 2013
- Fiskeridirektoratet statistikk for 2019. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Loennsomhetsundersokelse-for-laks-og-regnbueoerret/Matfiskproduksjon-laks-og-regnbueoerret>
- Folkestad, A., et al., Rapid and non-invasive measurements of fat and pigment concentrations in live and slaughtered Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), Aquaculture (2008), doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.04.037
- Hassan, W., Urke, H. A., Kristensen, T., Føre, M., Ulvund, J.B. and Alfredsen J.A. 2019. Real-time Fish Positioning and Monitoring System for Commercial Marine Farms- Based on Acoustic Telemetry and Internet of Fish (IoF). Proceedings of the 29th International Ocean and Polar Engineering Conference, Hawaii, USA, June 16–21, 2019.
- Kent, M. L., Whyte, J. N. C., LaTrace, C. Gill lesions and mortality in seawater pen-reared Atlantic salmon *Salmo salar* associated with a dense bloom of *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira* species. Diseases of Aquatic Organisms 22:77-81 (1995)
- Mørkøre T, Einen, O, 2003. Relating sensory and instrumental texture analyses of Atlantic salmon. Journal of Food Science 68, 1492-1497.
- Mørkøre, T., 2008. Tekstur i oppdrettslaks. Kunnskapsstatus og forhold som bidrar til fastere filet. Nofima rapportserie (32/2008). In Norwegian.
- Mørkøre T (2012) Filet av oppdrettslaks: Kvalitetsavvik og årsakssammenhenger. FHF-prosjekt 900339. Report 17/2012, Nofima, Ås.
- NASDAQ historisk laksepris. <https://fishpool.eu/price-information/reports/nasdaq-salmon-index-archive/>
- Noble, C., Nilsson, J., Stien, L.H., Iversen, M., Kolarevic, J. & Gismervik, K. 2018. Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd. 312 pp
- Remen M., Oppedal F., Torgersen T., Imsland A.K., Olsen R.E.: Effects of cyclic environmental hypoxia on physiology and feed intake of post-smolt Atlantic salmon: Initial responses and acclimation. Aquaculture 326–329, 148–155.
- Rozas-Serri M.: Gill diseases in marine salmon aquaculture with an emphasis on amoebic gill disease CAB Reviews 2019 14, No. 032

Sommerset I, Bang Jensen B, Bornø B, Haukaas A og Brun E. Fiskehelse rapporten 2020, utgitt av Veterinærinstituttet 2021

Sørland GH, Larsen PM, Lundby F, Rudi AP, Guiheneuf T. 2004. Determination of total fat and moisture content in meat using low field NMR. *Meat Sci.* 2004; 66:543–50. pmid:22060863

Urke, H. A., Kristensen, T., Arnekleiv, J. V., Haugen, T. O., Kjærstad, G., Stefansson, S O., Ebbesson, L.O.E and Nilsen, T. O. 2013. Seawater tolerance and post smolt migration of wild Atlantic salmon x brown trout hybrid smolts. *Journal of Fish Biology* 82, 206-227

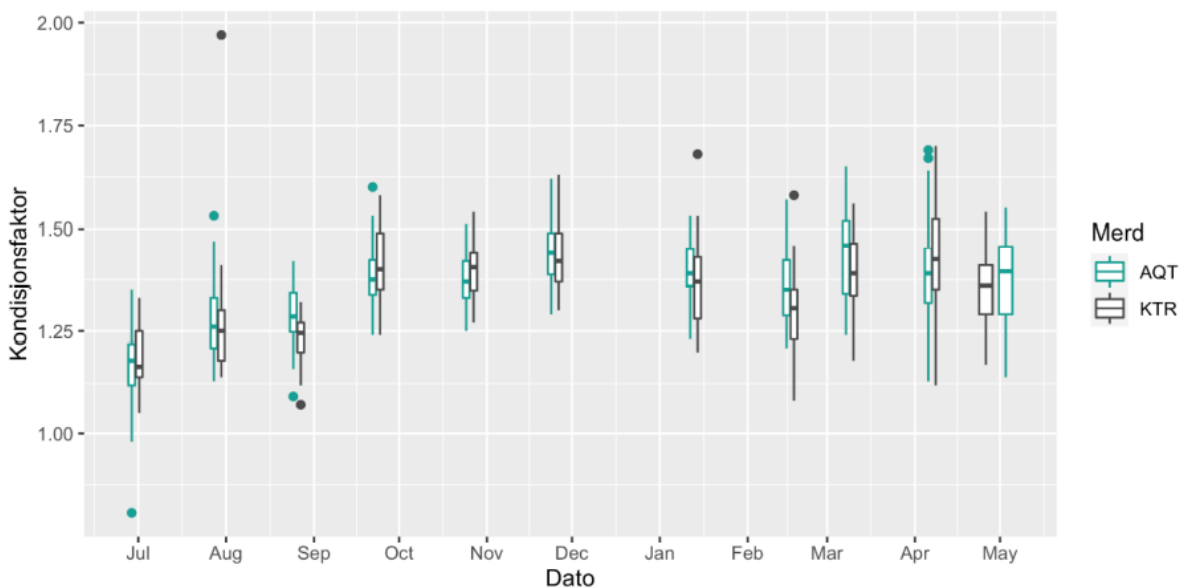
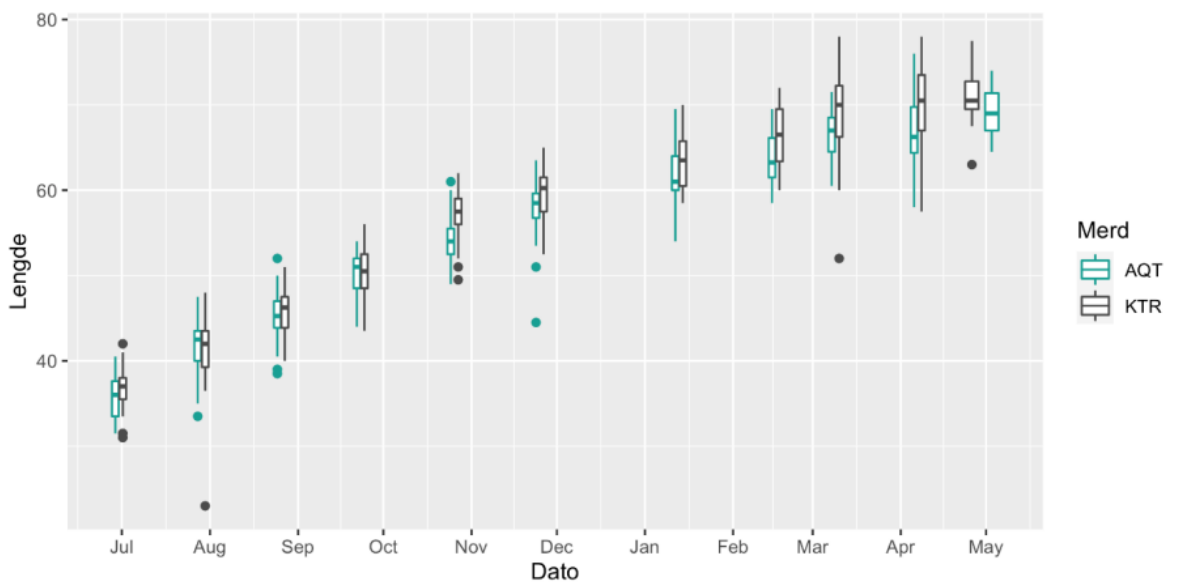
Aarsnes, J.V. (2020). Aquatraz Development Project: Rapport nr. AQT-SFS-V-RA-0239 Rev.A1 Strømning i merd – Sammenligning fullskala målinger og CFD beregninger

11. Vedlegg

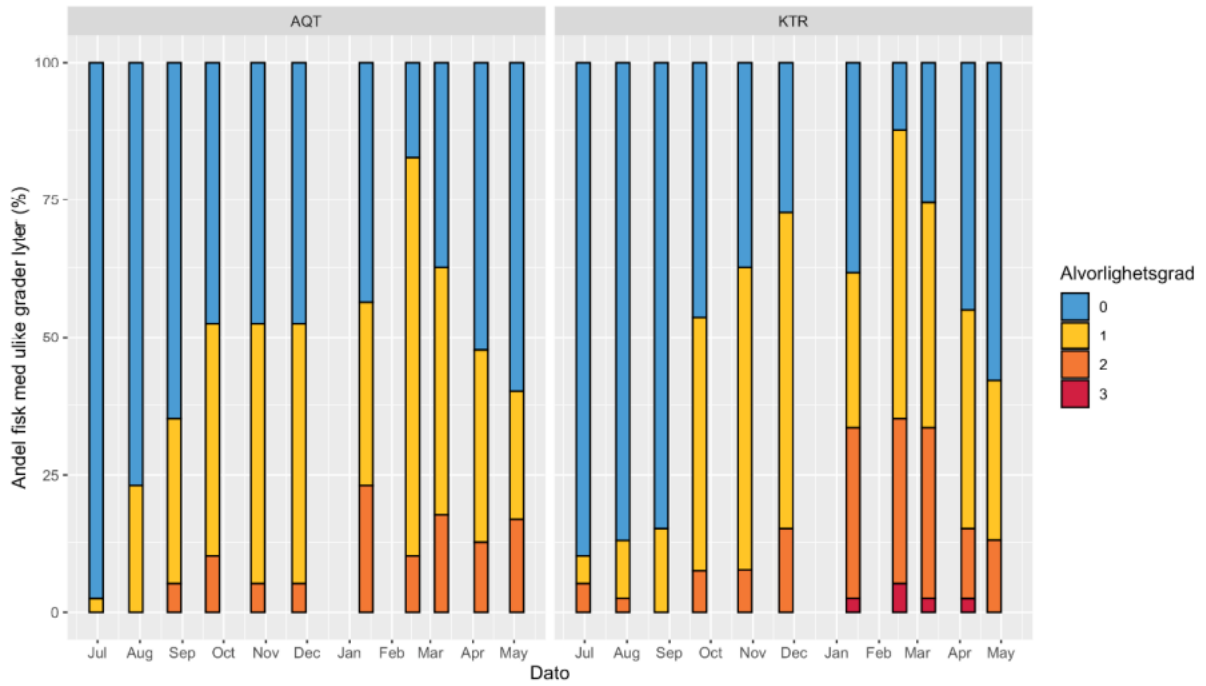
11.1. Velferdsscore

For de operative velferdsindikatorer (OVI) hvor det ikke var figurert i kapittel 5 er det vist andel fisk (%) med ulike score-verdier for hver enkelt undersøkt indikator på fisk fra AQT4 og KTR på alle undersøkelsesdatoer.

Lengde og kondisjonsfaktor er vist som bokplott med samme datagrunnlag og tilsvarende forklaring som vektdata i figur 5.1. Det var ikke signifikante forskjeller mellom gruppene for lengde eller kondisjonsfaktor i dette materialet.



Aktiv ryggfinneskade



Helbredet ryggfinneskade

