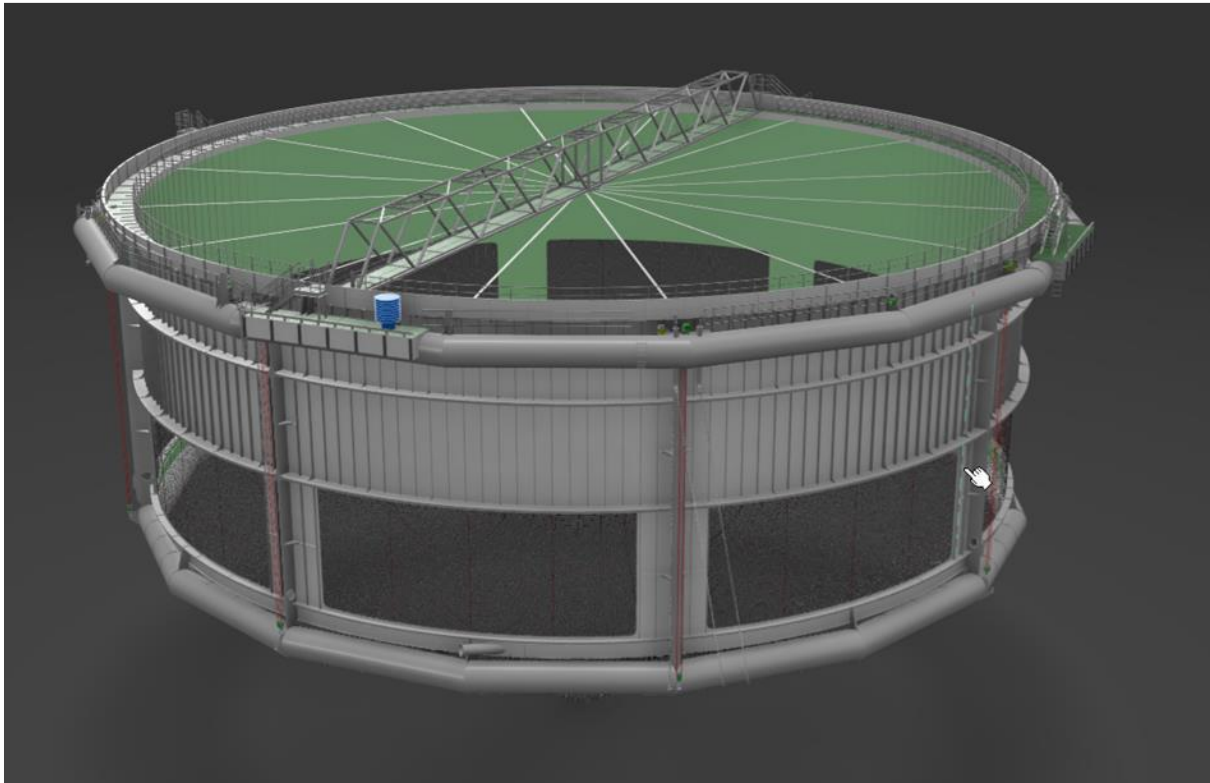


Aquatraz:

Sluttrapport for biologiprogram – pilotmerd i Eiterfjorden

Dokument nr.: AQT-MNH-BIO-004



Rev	Dato	Bakgrunn for utgivelse	Laget av	Sjekket av	Godkjent av
0	20.12.2019	Sluttrapport versjon 1 i henhold til plan.	TS	SH	RE
1	23.01.2020	Mindre revisjon av i hovedsak oppsett, forfatterliste og logoer	TS	SH	RE

Aquatraz: Sluttrapport for biologiprogram – pilotmerd i Eiterfjorden

Forfattere

Forfattere er kreditert på hvert kapittel eller underkapittel. Alle forfattere er tilknyttet biologidelen av Aquatrazprosjektet og er engasjert av Midt-Norsk Havbruk til å bistå med dokumentasjon av merdkonseptet.

Redaktør

Torolf Storsul, Arnfinn Aunsmo, Alf S. Dalum, Sturla Romstad, Henning Urke, Åse Åtland og Thomas Larsson.

Sendt inn til Fiskeridirektoratet og Mattilsynet 23.01.2020

Samarbeidspartnere i prosjektet



Veterinær Sturla Romstad

Innhold

1. Oppsummering.....	5
2. Innledning.....	7
3. Produksjonseffektivitet – analyse av sentrale produksjonsparametere.....	9
3.1 Bakgrunn.....	9
3.2 Mål.....	9
3.3 Biologisk modell.....	9
3.4 Økonomisk modell «Partial budget model».....	10
3.5 Grunnlagsdata	10
3.6 Resultat.....	10
3.7 Diskusjon.....	11
4. Velferdsvurderinger.....	13
4.1 Formål.....	13
4.2 Metodikk.....	13
4.3 Resultat og diskusjon	14
5. Helseovervåking med vekt på gjellehelse og hjertehelse.....	15
5.1 Gjellehelse	15
5.2 Hjertehelse	16
5.3 Andre vev.....	17
6. Lakselus	18
6.1 Luseutviklingen i produksjonsområde 7 (PO7).....	18
6.2 Luseutviklingen i Aquatrazmerd og kontrollmerd	19
6.3 Diskusjon om utviklingen av lus i Eiterfjorden	21
6.4 Luselarver i plankontrekk (oktober 2018 – august 2019)	23
7. Adferd og akustisk telemetri	25
7.1 Formål.....	25
7.2 Bakgrunn.....	25
7.3 Metodikk.....	25
7.4 Resultat og diskusjon.....	26
7.4.1 Registreringer	26
7.4.2 Dybdebruk	26
7.4.3 Horisontal fordeling.....	28
7.4.4 Posisjonering	30
7.4.5 Forflytningsdistanser	30
7.4.6 Fordelinger i vannvolum.....	33
7.5 Oppsummering	34

8. Alger, dyreplankton og vannkvalitet”	35
8.1. Formål og bakgrunn.....	35
8.2. Algesammensetning	35
8.3. Dyreplankton	37
8.4. Vannkvalitet.....	37
9. Vannstrøm.....	40
9.1. Formål og bakgrunn.....	40
9.2. Analyser og målinger	40
10. Produktkvalitet	43
10.1 Formål og bakgrunn	43
10.2 Materiale og metode.....	43
10.3 Resultater	43
11 Referanser.....	47
12 Vedlegg	48
12.1 Operative velferdsindikatorer på individnivå.....	48
12.2 Dybdeplott gjennom hver time av døgnet for laks i Aquatraz og kontrollmerd over en periode på 24 dager i nov./des. 2018.....	58

1. Oppsummering

Denne rapporten oppsummerer biologidelen av Aquatrazprosjektet for generasjon 1 av Aquatrazmerden. Dette er en del av et utviklingstillatelsesprosjekt der Seafarming Systems eier konseptet, Midt-Norsk Havbruk oppdretter fisk i merden og bidrar med innspill, mens flere partnere har bidratt med undersøkelser og vurderinger.

Hensikten med et biologiprogram er å dokumentere resultater for Aquatrazmerden, se etter forskjeller mot konvensjonell merd, samt gi innspill til videreutvikling av merdkonseptet og senere biologiprogram. Programmet som denne rapporten oppsummerer er knyttet til lokaliteten 35877 Eiterfjorden og pågikk i perioden 16.10.2018 til 14.08.2019.

Konklusjoner fra dette programmet kan oppsummeres kort slik:

- Produksjonseffektiviteten har vært relativt lik, med en tendens til noe bedre biologiske resultater fra Aquatrazmerden enn konvensjonell merd. Usikkerhet i antall fisk og noen usikkerheter ut fra designet på programmet, som for eksempel produksjonstid, gjør at det er vanskelig å dra sikre konklusjoner. Dette bør forbedres til senere biologiprogrammer. Teknologien gir økte kostnader. Det er potensiale for å videreutvikle merden slik at den gir bedre tilvekst og fôrutnyttelse enn konvensjonell merd, da kan dette bli en kostnadseffektiv teknologi. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 3.
- Operative velferdsindikatorer på individnivå er fulgt opp månedlig, det er ingen store forskjeller som er funnet mellom fisken i Aquatrazmerden og fisken i konvensjonell merd. Det betyr at det ikke er indikasjoner på at det er systemforskjeller mellom Aquatrazmerd og konvensjonell merd som har betydning for de velferdsindikatorerne som er vurdert. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 4.
- Gjellehelsen framstår som bedre i Aquatrazmerden enn i konvensjonell merd, mens det ikke er detektert forskjeller i hjertehelsen mellom de to produksjonssystemene. Det er ikke funnet andre alvorlige sykdommer undervegs i prosjektet. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 5.
- For lakselus kan man se en noe forsinket utvikling i Aquatrazmerden i forhold til kontrollmerden, både i forhold til tidspunkt og mengde lus. Forskjellene er likevel så små at det kan skyldes vanlig variasjon mellom ulike merder. Det er gjennomført håvtrekk med planktonhåv, der det generelt er funnet relativt få luselarver på alle stasjoner. En økning av luselarver i Aquatrazmerden kan tenkes å ha sammenheng med heving av merden for slaktefisklevering. Det bør vurderes skjermingstiltak ved slike operasjoner senere. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 6.
- Adferd er vurdert ved bruk av akustisk telemetri. Generelt ser man at ulike individer har ulike preferanser når det gjelder både dybde- og horisontal posisjonering. En tydelig variasjon i dybdebruk ble observert for all fisk gjennom døgnet. Det dominerende atferdsmønsteret er at laksen står relativt grunt og samlet om natten, og at dette bryter opp på dagen. Når det gjelder horisontal fordeling så er det slik at om dagen registreres fisken i praktisk talt hele utbredelsen av merden, mens om natten er laksene tydelig mer stedbundne. Med hensyn til forflytningsdistanse ble det sett at den var omtrent doblet om dagen sammenlignet med natt. Det var også signifikant forskjell mellom merdene, med gjennomsnittlig noe større forflytningsdistanser i kontrollmerd sammenlignet med Aquatrazmerd. Det var

bemerkelsesverdig stor forskjell i bruken av vannvolumene på dagtid og nattestid. Registreringer i ulike vannvolum er noe mer skjevfordelt i Aquatrazmerden enn i kontrollmerden, noe som kan reflektere at fisken har større preferanse for enkelte vannvolum i Aquatrazmerden sammenlignet med kontrollmerden. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 7.

- Vannkvalitet er undersøkt på ulike vis. Det er ikke sett systematiske forskjeller i algemengde eller artssammensetning. For dyreplankton er det sett høyere antall individer i Aquatrazmerden enn i referansemerden og det tilstrømmende vannet, det kan muligens delvis forklares av at strømsettingen i Aquatrazmerden førte til at mer vann ble filtrert gjennom håven i håvtrekkene her. Aquatrazmerden har systematisk lavere O₂-nivåer enn både referansemerden og tilstrømmende vann. Aquatrazmerden ser ut til å virke stabiliserende på O₂-nivåene, det er lavere svingninger enn i kontrollmerden. Vannet i Aquatrazmerden har gjennomgående høyere salinitet enn vannet i referansemerden og tilstrømmende vann. Temperaturen er perioden sett under ett omtrent lik mellom Aquatrazmerd og kontrollmerd samt rom sjø. Likevel kan det observeres forskjeller periodevis. I juli lå temperaturen i Aquatrazmerden nesten konsekvent under temperaturene i referansemerden og tilstrømmende vann, noe som kan være gunstig. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 8.
- Vannstrøm er modellert med CFD-analyser, samt at det er gjort målinger av vannstrøm og fargestoffforsk. Dette viser god vannutskiftning og er et godt grunnlag for videreutvikling av strømsettere. Det viser også god sammenheng mellom CFD-analyser og målinger. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 9.
- Produktkvalitet er evaluert, og det ser ut til at fisken fra Aquatrazmerden har fastere filet enn fisken fra kontrollmerden. Det var en tendens til at fisken i Aquatrazmerden hadde litt bedre farge samt mindre lever og hjerte enn fisken i kontrollmerden. Ellers små eller ingen forskjeller i produktkvalitet. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 10.

2. Innledning

Aquatraz er ei semilukket stålmerd hvor Seafarming Systems har utviklet og eier konseptet, mens Midt-Norsk Havbruk har fire utviklingstillatelser for å prøve ut merden og utvikle den i samarbeid med Seafarming Systems. I Aquatrazprosjektet er det planlagt fire ulike versjoner over en prosjektperiode på 7 år.

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. Det vises til tidligere leverte måleprogram "Aquatraz: Program for å dokumentere biologiske resultater i driftsfasen – pilotmerder i Eiterfjorden" med siste revisjon 06.08.2018, samt halvårsrapporten for dette programmet datert 08.05.2019. Denne sluttrapporten for måleprogrammet i Eiterfjorden oppsummerer biologien i første versjon av Aquatrazmerden, samtidig som det gir noen signaler om hvordan prosjektet og merden kan utvikles videre.

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 har lagt 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.

Programmet som har pågått i Eiterfjorden startet 16.10.2018, da det ble flyttet inn fisk på ca. 1,7 kg snittvekt fra konvensjonelle merder til Aquatrazmerden og en kontrollmerd på lokaliteten 35877 Eiterfjorden. Fisken hadde opprinnelse i samme smoltanlegg, og var satt ut på samme tidspunkt og ellers med så lik historikk som praktisk mulig. Aquatrazmerden hadde 8 meter stålskjørt og kontrollmerden var en konvensjonell 160-metring med 8 meter skjørt av presenning. Midt-Norsk-ringen har vært i bruk på kontrollmerden i hele perioden, mens den var mer sporadisk i bruk på Aquatrazmerden. Det var ikke rensefisk i Aquatrazmerden eller kontrollmerden. Programmet gikk til fisken i kontrollmerden ble slaktet ut 18.07.2019 og fisken i Aquatrazmerden ble slaktet ferdig i 16.08.2019.

All fisken i merd 3 og deler av populasjonen i merd 4 i Eiterfjorden ble flyttet til Aquatrazmerden, mens resterende fisk i merd 4 ble flyttet til kontrollmerden. I forbindelse med denne operasjonen ble det klart at det var et betydelig avvik på tellerne på brønnbåten. Dette ga igjen stor usikkerhet i antall og snittvekt på det som ble startpunktet i dette biologiprogrammet. Med hensyn til lus så ble det avluset ved innflytting til merdene, uten at man greide å få et nullpunkt for luseutvikling. Personellet på lokaliteten har fulgt opp meget godt, og det har blant annet gjort at vi har hatt presise tall for

dødelighet undervegs. Likevel er det slik at oppsettet som er brukt for dette programmet har gitt betydelig usikkerhet for noen av resultatene, spesielt det som er knyttet til luseutvikling samt biologisk og økonomisk effektivitet. For senere programmer må man ha utsett av smolt til Aquatrazmerd og kontrollmerd samt mer nøye oppfølging av eventuelle antallsavvik ved kritiske operasjoner som for eksempel flytting eller slakting, dersom man skal kunne oppnå bedre presisjon i evalueringen.

I Aquatrazmerden i Eiterfjorden ble det prøvd ut to ulike teknologier av strømsettere, en propellstrømsetter og en ejektorstrømsetter. Dette ga grunnlag for valg av teknologi på versjon 2 av Aquatrazmerden.

Denne rapporten har en oppsummering med de viktigste funnene, en innledning som gir en kortfattet beskrivelse av historikk og forutsetninger, samt kapitler som er bygd opp rundt de av suksesskriteriene som er relevant for biologiprogrammet og disposisjonen fra biologiprogrammet.

Midt-Norsk Havbruk og Seafarming Systems retter en stor takk til våre partnere i biologiprogrammet, uten deres meget gode bistand har dette programmet ikke vært mulig å gjennomføre. Partnere har vært NIVA, Pharmaq Analytic, Nofima, INAQ, NTNU, Thelma Biotel, Aqua Kompetanse, Sturla Romstad, Pharmaq og Spillfree Analytics. Dessuten har Moveo levert dataløsninger som har vært til stor hjelp. Dedikert personell på lokaliteten Eiterfjorden har vært avgjørende for å kunne gjennomføre programmet.

3. Produksjonseffektivitet – analyse av sentrale produksjonsparametere

Av: Arnfinn Aunsmo, DVM PhD, SpillFree Analytics AS

3.1 Bakgrunn

I dagens laksenæring er produksjonskostnad (kr/kg) samt resultat (overskudd) svært knyttet til «biologiske prestasjoner» eller utnytting av det biologisk potensiale til laksen i merdene. For at nye teknologier skal bli mer kostnadseffektive eller mer miljøvennlige enn tradisjonell teknologi er det nærmest en forutsetning at de biologiske prestasjonene forbedres. Ny teknologi er sjelden optimal ved første forsøk slik at en videreutvikling og optimalisering av teknologi er nødvendig for å ta ut teknologiens potensiale. I en slik utviklings- og optimaliseringsammenheng 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 kg og kroner per investert krone.

Det er gjort en pilotstudie med formål om å utvikle metode for å sammenligne produksjonseffektivitet i form av både biologisk og økonomisk effektivitet på 1. generasjon Aquatraz (AT1) vs. konvensjonelle teknologi (konv1.) i Eiterfjorden 2018-2019.

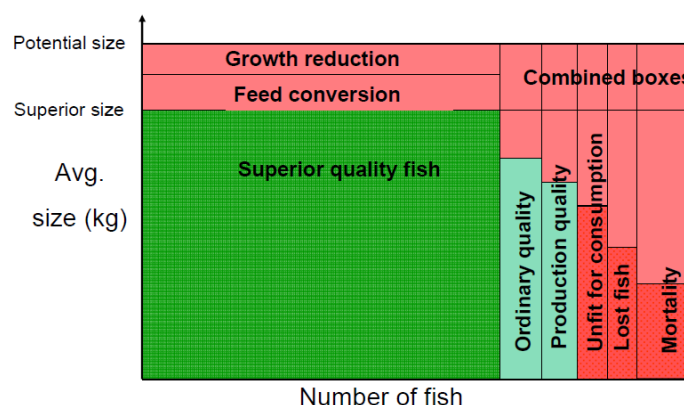
3.2 Mål

- Utvikle en modell for å sammenligne produksjonseffektivitet i AT1 og konvensjonell teknologi
- Vise effekt av forskjeller i sentrale produksjonsparametere på produksjonskostnad og resultat

Bedre utnytting av et biologisk potensial vil også være korrelert med økt fiskevelferd. Dette gjennom bedre helse, bedre ernæring, bedre næringsopptak, mindre skader etc. Fiskevelferd er ikke vurdert i metodikken brukt i denne studien, men redusert dødelighet, mindre utkast etc. vil tilsa at det også har vært en bedre fiskevelferd.

3.3 Biologisk modell

Utnyttelse av potensiale i to biologiske produksjoner kan sammenlignes i «The Biologic Production-Loss Model (bPLM)» hvor de ulike elementene i biologisk produksjon kvantifiseres og vurderes både i en biologisk og økonomisk sammenheng.



Figur 3.1. «The Biologic Production-Loss Model» (bPLM) som kan kvantifisere produsert biomasse, kvalitet og utnyttelse av et biologisk potensial i en fiskeproduksjon (Aunsmo 2009).

3.4 Økonomisk modell «Partial budget model»

Det er laget en «partial budget model» som summerer opp kostnadene og de spesifikke produksjonsmessige fordelene og ulempene ved bruk av Aquatraz sammenlignet med konvensjonell merdteknologi. I en «partial budget model» identifiseres de sentrale faktorene som er forskjellige mellom de to teknologiene mens de øvrige produksjonsparametere og kostnader ligger faste.

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, redusert fôrforbruk etc.

ØK = **Økte kostnader** ved investering og drift av Aquatraz

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

3.5 Grunnlagsdata

Slike modeller er avhengige av gode data for å kunne gi sikre vurderinger på effekt av teknologi. Det er hentet produksjon- og økonomidata direkte fra Midt-Norsk Havbruk sine produksjonsstyrings- og økonomiverktøy inn i modellen. Fisk ble flyttet inn i enhetene ved ca. 1,7 kg vekt hvor det er noe usikkerhet ved både antall og snittvekt. Kostnader er til en viss grad splittet til de enkelte enhetene, men det er ikke gjort en full splitt på alle områder.

Det er vider gjennomført én produksjon (biologiprogram1) slik at det statistiske grunnlaget for vurdering om forskjeller er tilfeldige eller kan begrunnes i teknologiene er begrenset. Modellen er kalibrert til å gi en produksjonskost på ca. 40 kr per kg sløyd pakket i kasse for konv1, dette er et snitt for Trøndelag i 2018 (Fiskeridirektoratet 2019). Kostnader ved ny teknologi er basert på en estimert investeringskostnad på en serieprodusert enhet med 35 mill. kroner avskrevet over 15 år med en rente på 3,15%. Det er brukt an laksepris på 57,83 i modellen, dette er snittprisen tom uke 44 i 2019 (Fish Pool Index).

3.6 Resultat

Effekt av sentrale produksjonsparametere er analysert og framstilt nedenfor. Totalt resultat er vurdert for usikkert til å gi kunne fremstilles i denne runden.

Tabell 3.1. Hovedtall over produksjon i Aquatraz1 og konvensjonell merd på Eiterfjorden 2018-2019.

Eiterfjorden 2018-2019	AT1	Konv1
Antall fisk utsatt	183 581	120 583
Vekt utsatt fisk kg	1,62	1,78
Vekt slakt rund kg	5,14	5,04
Antall kg slaktet sløyd	792 551	505 468
Maks tetthet kg/ m3	18,55	15,50

Tabell 3.2. Estimerte investering-, rente- og forsikringskostnader per år med ny teknologi.

Investeringer - effekter	AT1	Konv1	Forskjell	Δ prodkost*
Avskrivinger	2 333 333	200 000	2 133 333	2,53
Renter	551 250	15 750	535 500	0,66
Forsikring anlegg	245 000	-	245 000	0,31
Sum investeringer	3 129 583	215 750	2 913 833	3,50

* **Δ prodkost:** Forskjell i prodkost per kg mellom de to teknologiene.

Tabell 3.3. Forskjell i sentrale biologiske produksjonsparametere og effekter på prodkost og resultat.

Biologi - effekter	AT1	Konv1	Forskjell	Δ prodkost	
				Kr/kg	Effekt resultat
VF3	2,52	2,52	0		
Vekt rund kg	5,14	5,04	0,1	-0,42	555 000
Dødelighet %	2,05%	3,39%	-1,34%	-0,44	498 000
Dødfiskvekt kg	2,26	2,07	0,19	0,01	-12 000
bFCR	1,33	1,41	-0,08	-0,70	560 000
Nedklassing prod % biomasse	2,30%	2,80%	-0,50%	0,00	121 000
Utkast % biomasse	0,60%	0,10%	0,50%	0,20	-212 000
Sum effekter biologi				-1,36	1 413 000

3.7 Diskusjon

Det er laget en pilotmodell for å se på sammenhenger mellom biologiske og økonomiske prestasjoner i første generasjon av fisk i Aquatraz. De biologiske prestasjonene i AT1 og konv1 er relativt like og gir derfor ikke de store effektene. Dødelighet er lav, kvalitet er god, tilvekst er moderat og fôrutnyttelsen er dårlig, dette gjelder for begge enhetene. AT1 har en gjennomgående noe bedre biologi som samlet gir en redusert prodkost på nok -1,36 per kg sløyd laks pakket i kasse. For AT1 gir dette også en økt produksjon på ca. 22 tonn og et bidrag til økt resultat med 1,4 mill. kroner.

Det er med bakgrunn i kostnader til AT1 gjort et estimat på hva en serieproduksjon av Aquatraz vil gi av merkostnader vs. konvensjonell teknologi. Videre er første prøveproduksjon estimert til å ta 1 år med vask, brakklegging, vedlikehold og flytting mellom lokaliteter. Økte kostnader med ny teknologi er estimert til ca. 3 mill. per generasjon og økt prodkost med 3,50 per kg for biomassen i denne produksjonen. De økte kostnadene er dermed ca. 2,5 ganger større enn effektene av en forbedret biologi. Resultatene kan være effekt av tilfeldige forskjeller, det er svært sjelden at merder presterer likt.

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 (VF3) og fôrutnyttelse (FCR) og effekt av disse. Samlet resultat fra AT1 i Eiterfjorden må vurderes ut fra denne usikkerheten. I videre arbeid med biologiprogrammet for Aquatraz bør en se på hvordan metodikk for å sikre bedre produksjonstall kan videreutvikles. Dette gjelder spesielt inngående antall og snittvekt, som danner grunnlag for analyser. Videre er det mulig å forbedre studie-design og modeller slik at sammenligninger av teknologier blir mer eksakt. F.eks. har AT1 er lengre produksjonsperiode og dermed noe økt risikoperiode som gir økt dødelighet, slike forhold bør standardiseres.

Det bør i videre utvikling av Aquatraz fokuseres på hvilke områder Aquatraz har størst potensiale til å forbedre de biologiske prestasjonene. Ut fra resultatene i AT1 er potensialet størst for tilvekst og

også en forbedring i fôrutnyttelse. Dersom en klarer å forbedre biologiske prestasjoner slik at blir gode og stabile er det et potensial til å utvikle Aquatraz til å bli en kostnadseffektiv teknologi.

Det er noe usikkerhet knyttet til antall fisk og muligens også snittvekt/ biomasse ved flytting av fisk inn i enheten. Resultat fra AT1 i Eiterfjorden må derfor også vurderes ut fra denne usikkerheten.

De biologiske forskjellene mellom AT1 og konv1 er relativt små, men i all hovedsak er resultatene noe bedre i AT1. Resultatene kan være effekt av tilfeldige forskjeller, det er svært sjelden at merder presterer likt. Bedre biologi gir en redusert prodkost og bidrag til økt resultat. Investeringer i mer komplisert teknologi gir økte kostnader og økt prodkost.

4. Velferdsvurderinger

Av: Torolf Storsul, veterinær, Midt-Norsk Havbruk AS

4.1 Formål

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

4.2 Metodikk

Det er gjennomført månedlige besøk der det er scoret operative velferdsindikatorer på 40 fisk fra Aquatrazmerden og 40 fisk fra kontrollmerden. Storhåv ble brukt til å fange fisken, deretter ble fisken sedert og det ble målt lengde avrundet til nærmeste 0,5 cm og vekt avrundet til nærmeste 10 gram. Samme vekt ble brukt på alle målinger, og samme person har gjennomført alle scoringer (veterinær Torolf Storsul). 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 data. Bruken av denne appen har også gjort den grafiske framstillingen av resultatene enkel å hente ut.

Utvalget av operative velferdsindikatorer er gjort ut fra boken «Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd». Det er gjort en vurdering ut fra det som er anbefalt i kapittelet om semilukkede anlegg og en tilpasning ut fra erfaringer i MNH og til Aquatrazmerden slik konseptet er med vannutskiftning og strømsettere.

Følgende parametere ble registrert:

- Vekt
- Lengde
- Kondisjonsfaktor er utregnet
- 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 velferdsindikatorer er scoret etter Fishwell-standarden, dvs 0 til 3 for alle indikatorer med unntak av katarakt som har en 0 til 4 skala. Plansjer hentet fra boka «Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd» er brukt ved tvil om scoring.

4.3 Resultat og diskusjon

Grafer som viser resultatet av alle scoringer ligger som vedlegg til denne rapporten. I all hovedsak er det små forskjeller mellom fisken i Aquatrazmerden og fisken i kontrollmerden. De vanligste anmerkningene har vært på finneskader, skjelltap, hudblødning, snuteskade, øyeskade og utstående øye. Ved scoringen er 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 blir små anmerkninger til skjelltap, slik at mange fisker har fått score 1 på skjelltap som kan være relatert til håndtering ved undersøkelsen.

Et avvikende resultat er siste scoring på kontrollmerden der fisken har svært lav snittscore på finneskader og flere andre parametere som avviker tydelig fra foregående scoring i enheten. Det bemerkes at denne scoringen ble gjort ved siste slaktefisklevering fra merden, og det ble ikke gjort scoring fra Aquatrazmerden samme dag. Ved alle foregående undersøkelser ble scoringen i Aquatrazmerd og kontrollmerd utført samme dag. Ved denne siste undersøkelsen på fisk fra kontrollmerd var det også sent på kveld/ natt, noe som kan ha påvirket kvaliteten på vurderingene. Det er derfor noe usikkerhet relatert til dette ene undersøkelsestidspunktet på kontrollmerden.

Resultatene viser ingen store forskjeller mellom fisken i Aquatrazmerden og fisken i kontrollmerden. Historikken til fisken i de to enhetene er så lik som praktisk mulig, og man kan derfor ikke si at det er noen systemforskjeller knyttet til operative velferdsindikatorer på individnivå. Heller ikke på lengde, vekt og kondisjonsfaktor er det sett noen avvik av betydning. Utvalgsmetodikken og antallet undersøkte fisk ved hver scoring setter begrensninger på statistikken.

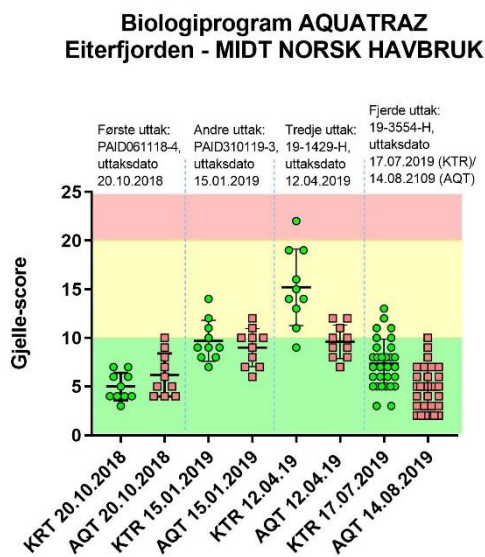
Dersom det på et senere tidspunkt vurderes slik at hjelpemidler er egnet til og kvalitetssikret for slike vurderinger, for eksempel tunell med kamera og automatisk gjenkjenning av velferdsindikatorer, er det tenkelig at man kan få øket antallet registreringer og bedret utvalget av individer slik at styrken i slike undersøkelser kan forbedres. Dette bør vurderes ved senere biologiprogrammer.

5. Helseovervåking med vekt på gjellehelse og hjertehelse

Av: Alf S. Dalum, DVM PhD, Pharmaq Analytic AS

5.1 Gjellehelse

Gjellehelse ble overvåket over totalt fire uttak (se figur 5.1) og vurdert ved hjelp av gjellescore utviklet av PHARMAQ Analytiq. I gjellescoren vurderes patologiske forandringer i gjellene i et gradert system hvor forandringer betraktet som av mindre fysiologisk betydning for fisken og som anses som raskt reverserbare vekttes mindre enn forandringer som betraktes som mer alvorlig og som tar lengre tid å lege. Hver forandring summeres opp og danner grunnlag for gjellens score.



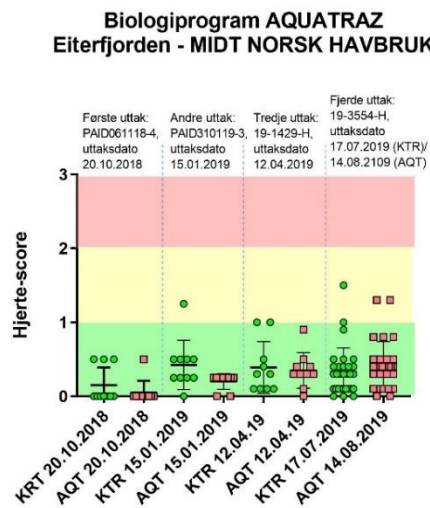
Figur 5.1. Utvikling av gjellescore for pilotmerd Eiterfjorden.

Uttaket datert 20.10.2018 representerer fisk ved overføring av de ulike merdsystemene, og variasjonen i gjellescore på dette tidspunktet kan derfor betraktes som naturlig variasjon uavhengig av merd-effekt. I påfølgende to uttak var det en klar trend med økning i gjellescore, og det framgår av figur 5.1 at gjellescore i Aquatrazmerden var gjennomgående lavere sammenlignet med gjellescore i kontrollmerden. Dette var særlig tydelig i uttaket datert 12.04.2019. I siste uttak (juli/ august) var det en betydelig lavere gjellescore for de to gruppene sammenlignet med uttaket i mai, og igjen var det en trend med lavere score for Aquatrazmerden sammenlignet med kontrollmerden. Av spesifikke forandringer var det histologiske funn forenelig med epiteliocystis i første, andre og fjerde uttak. Tilstanden vurderes likevel ikke til å være et betydelig problem. Videre var det funn som gir mistanke om paranucleosporose i samtlige uttak, og særlig i tredje uttak var dette utslagsgivende for den observerte forskjellen mellom kontrollmerd og Aquatrazmerd. Det kunne derfor vært spennende å undersøke smittepresset for de to ulike merdsystemene, og det utelukkes ikke at Aquatrazmerden kan ha bidratt med lavere eksponering mot smittestoff. Oppsummert framstår gjellehelsen som bedre i Aquatrazmerden sammenlignet med kontrollmerden i dette forsøket, og det vil være viktig å følge opp om dette resultatet er reproduserbart i påfølgende biologiske program.

5.2 Hjertehelse

Hjertehelse ble undersøkt både histologisk, morfologisk og makroskopisk.

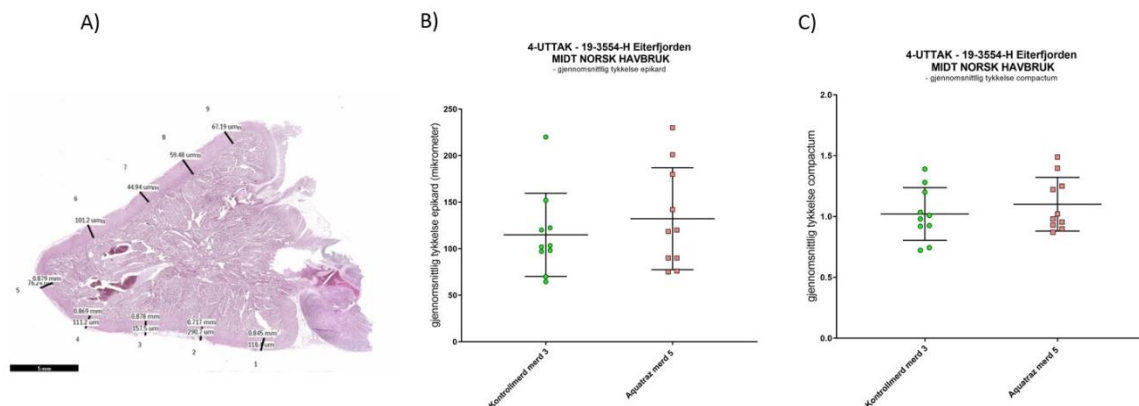
Histopatologisk vurdering ble gjennomført hvor forandringer i henholdsvis atrium (forkammer), epikard (ytre hjertehinne), hjertets kompakte lag og hjertets spongiøse lag ble gradert hver for seg på en skala fra 0-3 hvor 0 tilsvarer ingen synlige forandringer, 1 tilsvarer milde forandringer, 2 tilsvarer moderate forandringer og 3 tilsvarer omfattende forandringer. Den totale histopatologiske score utgjør gjennomsnittet av score for hver av de fire kategoriene.



Figur 5.2. Utvikling av hjertehelse for pilotmerd Eiterfjorden vurdert ut fra histologi.

Som det framgår av figur 5.2 var det en svak økning i histopatologiske forandringer gjennom produksjonssyklusen, og for hvert uttakstidspunkt var det ikke-signifikant forskjell i hjertehelse mellom de to merdsystemene. Grad av betennelse observert i enkelte av hjertene var så beskjeden at det er vanskelig å uttale seg om årsaksforhold, men tidlig fase av hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) mistenkes særlig ved siste uttak.

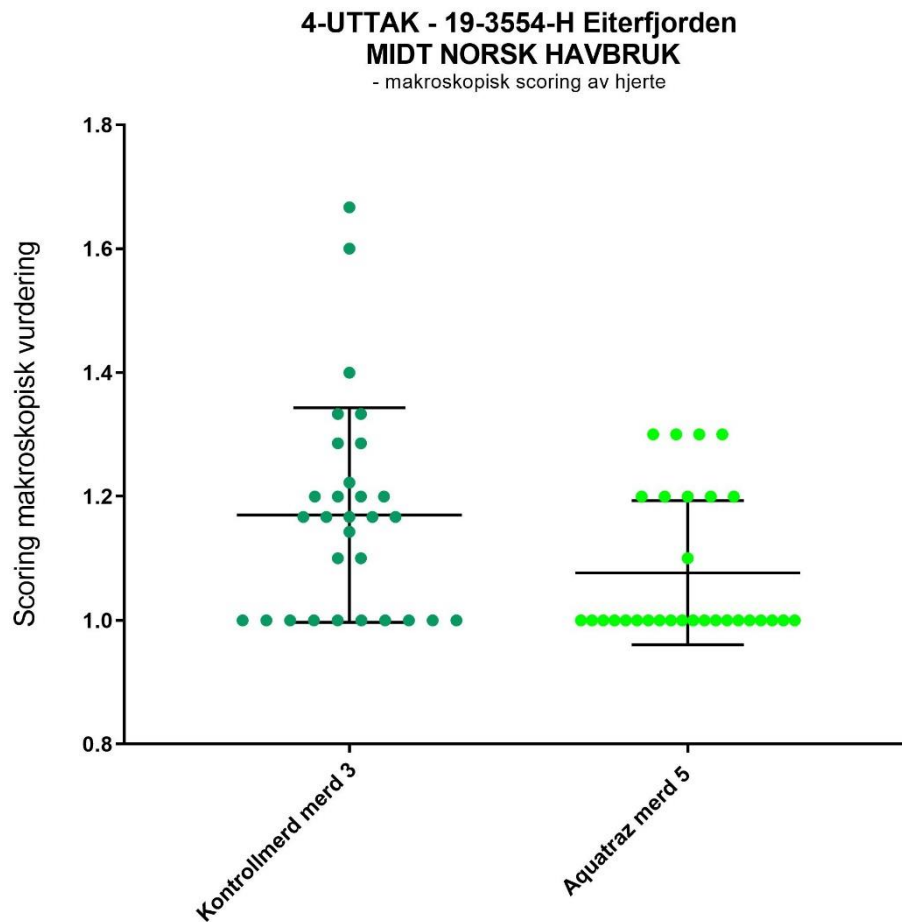
Morfologiske parametere i form av tykkelse på ytre hjertehinne (epikard) og hjertets kompakte lag (stratum compactum) ble vurdert i de histologiske snittene av hjerte snittet i medialplan. Tykkelsene ble målt på ni definerte steder (figur 5.3 A) og distribusjonen i tykkelse ble framstilt grafisk:



Figur 5.3. Morfologiske målinger av hjertet. A) Ni definerte målepunkter for morfometriske målinger. B) Variasjon av tykkelse epikard siste uttak. C) Variasjon i tykkelse av hjertets kompakte lag siste uttak.

Som det framgår av figur 5.3 B og C var det liten forskjell i tykkelse på epikard og hjertes kompakte lag, respektivt.

Makroskopisk vurdering ble foretatt ved hjelp av et system under utvikling hvor ulike morfologiske avvik for henholdsvis forkammer (atrium), ventrikel, bulbus arteriosus samt overordnet hjerteakse graderes fra 0 (ingen avvik), 1 (mild grad av avvik) eller 2 (betydelig grad av avvik) etter et fastsatt skjema av bestemte parameter. Det understrekes at metoden ikke er validert.



Figur 5.4. Makroskopisk vurdering av grad av avvik i hjertefasong.

Som det framgår av figur 5.4 var det kun mindre forskjell i grad av avvik i hjertefasong mellom de to gruppene.

5.3 Andre vev

Det var ingen spesifikke sykdomsforandringer i det undersøkte materialet, og vurdert ut fra histologien framstå fiskehelsen som gjennomgående god. For den totale vurderingen av det analyserte materiale refereres det til de fire utarbeidede histologiske rapportene:

- 1-UTTAK: PAID061118-4 Eiterfjorden - MIDT NORSK HAVBRUK
- 2-UTTAK: PAID310119-3 Eiterfjorden - MIDT NORSK HAVBRUK
- 3-UTTAK: 19-1429-H Eiterfjorden - MIDT NORSK HAVBRUK
- 4-UTTAK: 19-3554-H Eiterfjorden - MIDT NORSK HAVBRUK

6. Lakselus

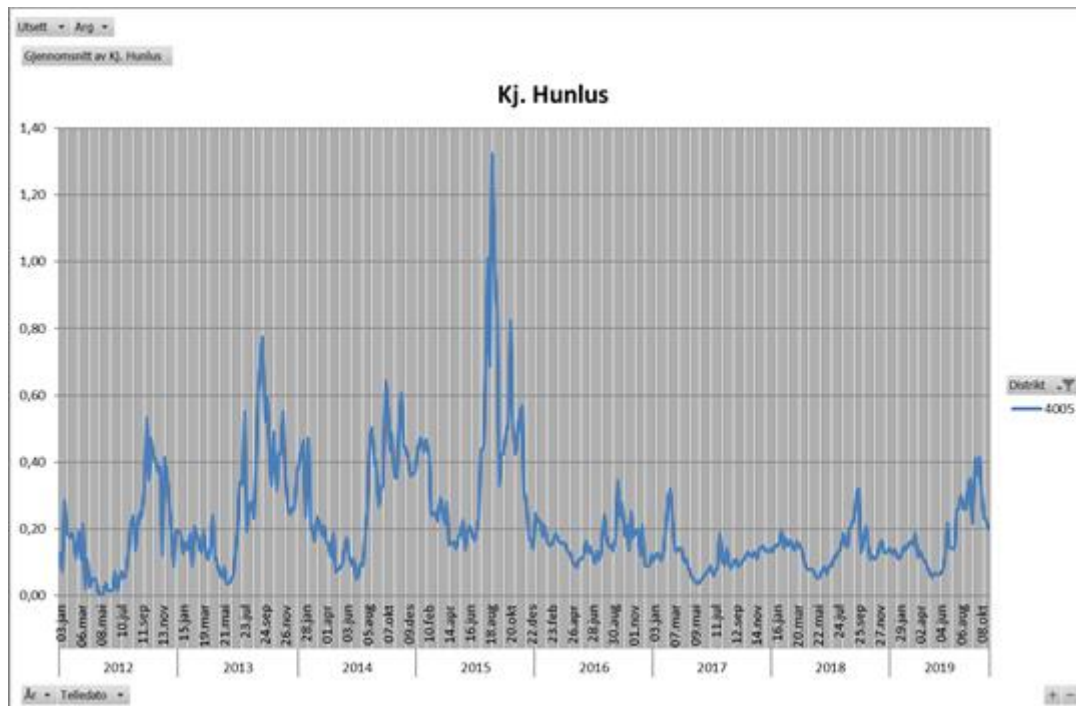
Av: Sturla Romstad, veterinær, og Yngve Lystad, teknisk sjef terapi, Pharmaq (Punkt 6.1, 6.2 og 6.3) og Åse Åtland, Forskningsleder, NIVA, Sara Calabrese, Forsker, NIVA, Christina Sørensen, Postdoc, NIVA, Anders Hobæk, Seniorforsker, NIVA. (Punkt 6.4).

6.1 Luseutviklingen i produksjonsområde 7 (PO7)

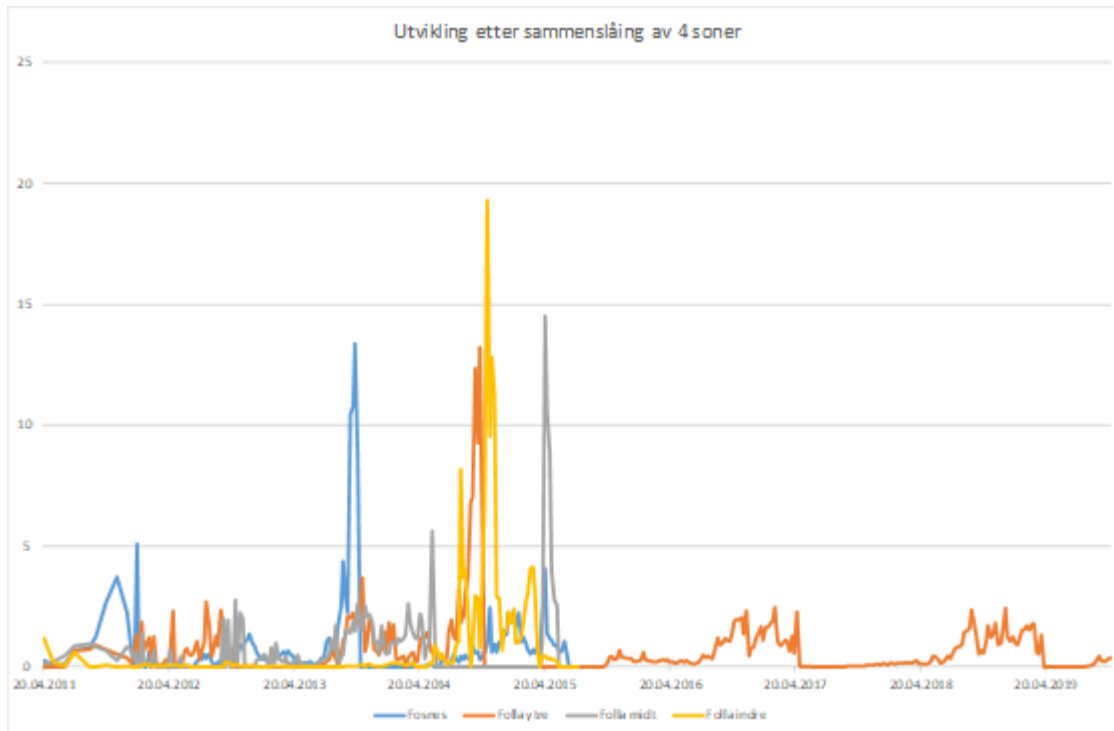
Den sesongmessige utviklingen av lakselus har fra 2016 blitt betydelig bedret som følge av innføring av større soner og oppbygging av kapasitet på mekanisk avlusing i 2015-2016. Utvikling av lus i området rundt lokalitet Eiterfjorden må sees på bakgrunn av de endringene som har skjedd i PO7. Det tar nå lengre tid før lusa bygger seg opp i området. De høye toppene med lakselus som ble observert gjennom sommersesongene i årene frem til 2015, er nå betydelig lavere.

For sesongen 2019, var det ingen behandlinger i sone Vikna Nordøst fra slutten på april til 10.juni, men det var flere avlusinger hvis en ser på PO7 som helhet.

Nedenfor vises henholdsvis oversikt over kjønnsmodne lus (figur 6.1) og bevegelige lus (figur 6.2) i produksjonsområde 7 (PO7) fra 2012. (Bindal er ikke med).



Figur 6.1. Kjønnsmodne lus i PO7 fra 2012 til 2019.



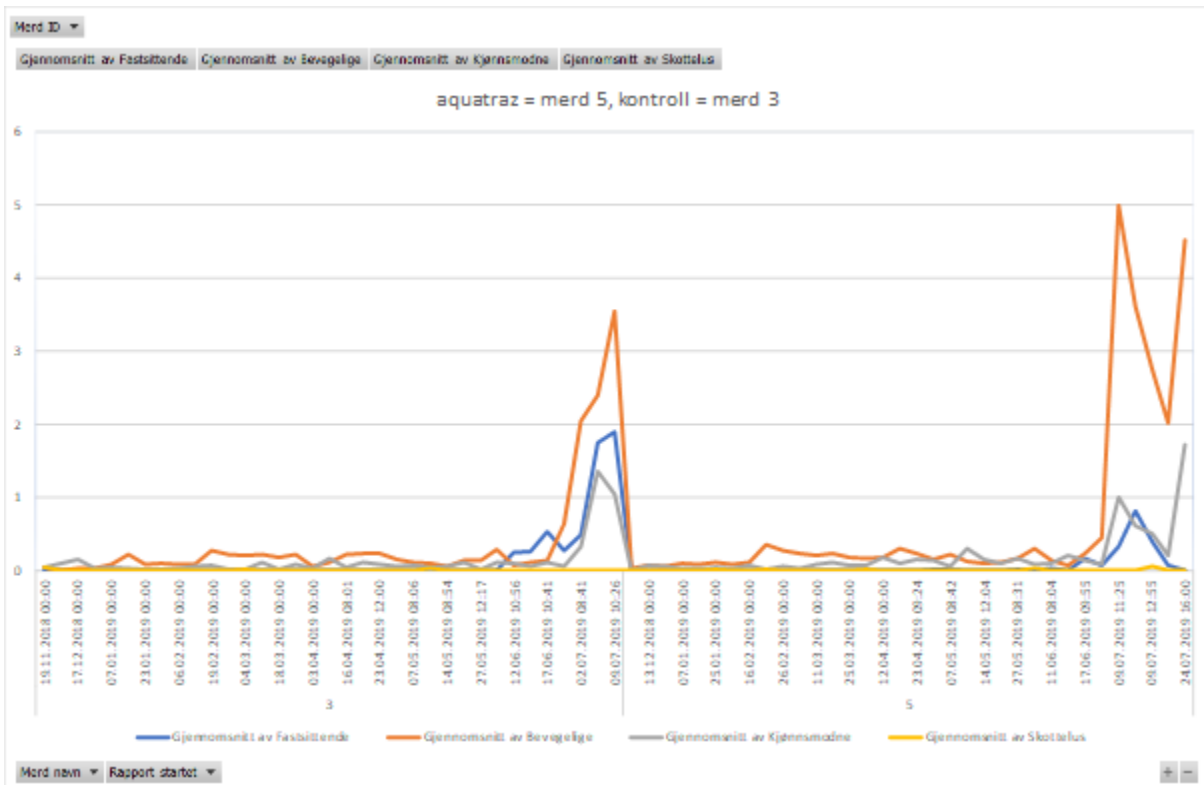
Figur 6.2. Antall av bevegelige lus etter ny organisering av 4 soner i 2015.

6.2 Luseutviklingen i Aquatrazmerd og kontrollmerd

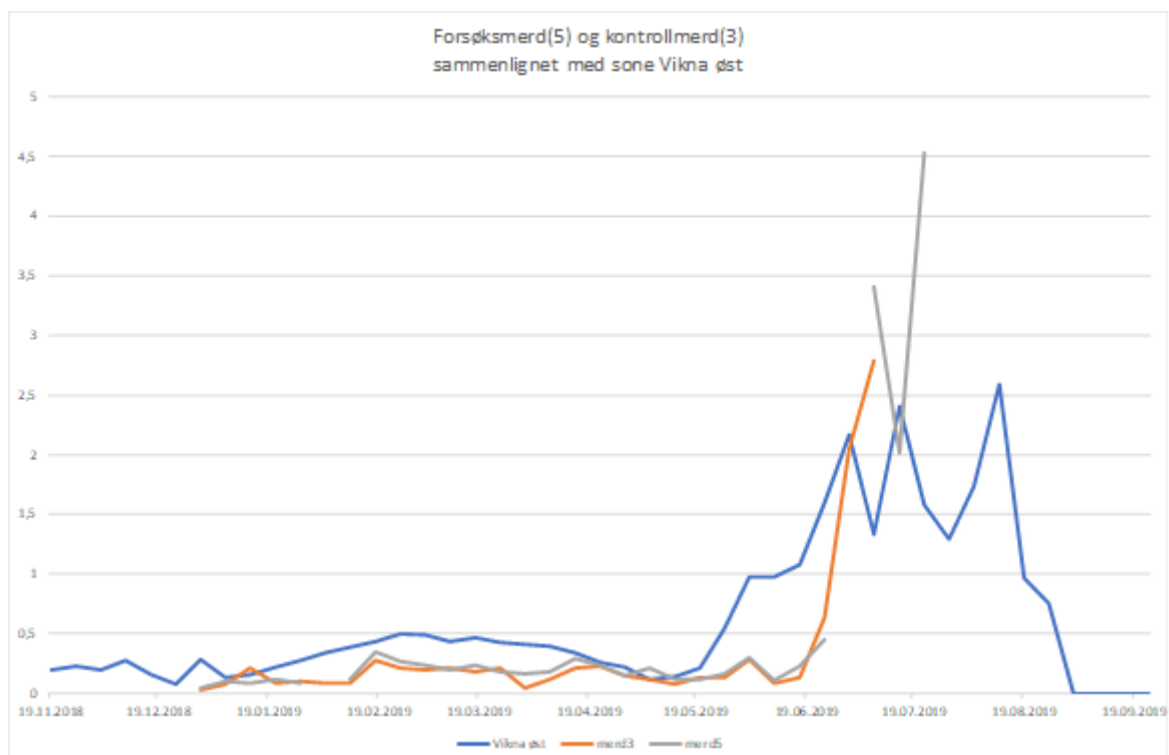
De to merdene har i hovedsak samme forløp. Det generelle bildet viser et fluktuerende, men lavt antall lus i alle stadier, i hele vinter- og tidlig vårperioden i både i Aquatrazmerden og referansemerden. Fra midten av juni ble det en rask utvikling i begge merdene. Det kan synes som om de bevegelige stadier øker raskere og i større mengder sammenlignet med den mengde med fastsittende som registreres i forutgående tellinger. En svak økning av fastsittende er registrert rundt 15. juni mens antall kjønnsmodne lus er mangedoblet tre uker senere.

Temperaturen i uke 26 kan variere betydelig. De siste 7 årene har gjennomsnittstemperaturen variert fra 9,4 til 11,9 grader.

For lokalitet Eiterfjorden var snitttemperaturen i år 11,5 grader. Utviklingstiden fra copepoditt til kjønnsmodne lus ved den temperaturen er ca. 24 dager. Det er dermed mulig at økningen i antall bevegelige og kjønnsmodne kommer fra påslag i juni. Fra 12.06. til 09.07. er det 27 dager for kontrollmerd og fra 17.06. til 09.07. er det 22 dager for Aquatrazmerd.



Figur 6.3. Gjennomsnittstall for alle stadier lus for Aquatrazmerd og kontrollmerd fra november 2018 til slakt i juli 2019.



Figur 6.4. Viser bevegelige lus i forsøksmerd og kontrollmerd i forhold til bevegelige lus i sonen (blå linje). Det er foretatt avlusinger på de andre lokalitetene i sonen. En kan se en forsenking av lusepåslaget i Eiterfjorden spesielt i perioden fra slutten av mai til midten av juni.

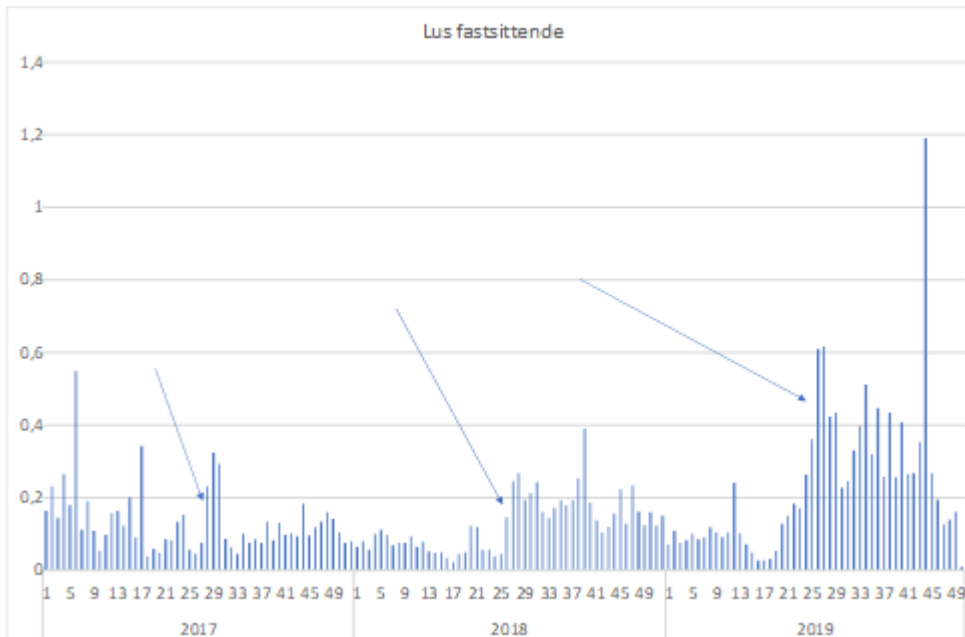
6.3 Diskusjon om utviklingen av lus i Eiterfjorden

Tellingene viser stabil, men noe fluktuerende nivåer av lus i alle stadier frem til et markert skifte som starter sent i mai/ tidlig i juni. Det kan synes som om de bevegelige stadier øker raskere i større mengde sammenlignet med den mengde med fastsittende som registreres i forutgående tellinger.

Eiterfjorden er en typisk fjordlokalisitet hvor sjøen har lag med ulik salinitet. I overflaten er det vanligvis lav salinitet mens den øker ned i dypet. Skillet mellom vann med lav salinitet og vann med høy salinitet kan være ganske skarp. I løpet av året er det stor variasjon i tykkelsen på ferskvannslaget. Ved vestlig vind og mye nedbør øker ferskvannslaget mens det blir tynnere ved østlig vind og lite regn. Arbeid utført av Crosbie et al har vist at luselarver søker ned i vannlaget med høy salinitet. Dette gjelder både nauplier og copepoditter, men copepoditter kan i større grad gå opp i lag med lavere salinitet.

Under kapittel 8.3 Vannkvalitet vises det at salinitet på innsiden av Aquatraz er mer likt dypvannet enn overflatevannet. Det kan tilsi at naupliene, og etter hvert copepodittene, følger strømmen langs underkant av haloklinen og kommer inn i både Aquatraz og referanse merd forutsatt at haloklinen kommer på tilnærmet lik dybde som nedre kant av enten Aquatraz eller skjørt. For tradisjonelle åpne merder er tykt ferskvannslag gunstig. Både nauplier og copepoditter blir da tvunget ned på dypere vann. Det er godt dokumentert at et tykt ferskvannslag gir lite lusepåslag og lav utvikling av lus for tradisjonelle åpne merder.

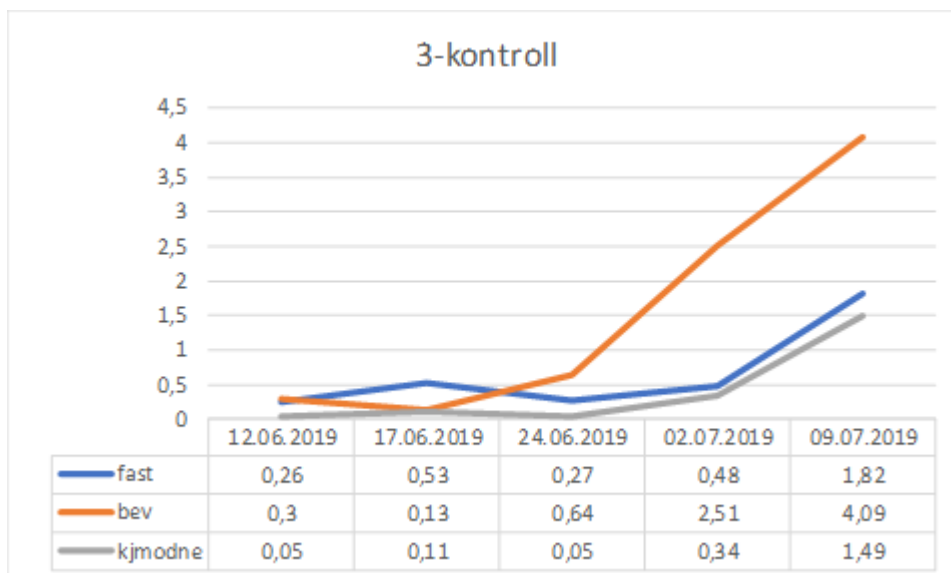
I den aktuelle perioden foregikk det en del mekaniske behandlinger i området, og det er kjent at trenging av fisk medfører at en del lus faller av. Orkast i seg selv, uavhengig av avlusingsmetode, anslås til å redusere mengden lus med 30-40% (pers.med). Hunnlus som dør har i tillegg en overlevelsesmekanisme i å slippe egg/ eggstrenger. Ofte har det blitt observert synkrone påslag av copepoditter etter koordinerte avlusninger. Egg som slippes fra hunnlus gir en tidsforsinkelse på noen uker før infektive copepoditter finner en laksevert. Bevegelige stadier som faller av, vil kunne finne ny vert direkte, og forklarer hvorfor man får kraftig økning i bevegelige mens økningen i juvenile/ fastsittende kommer noe forsinket.

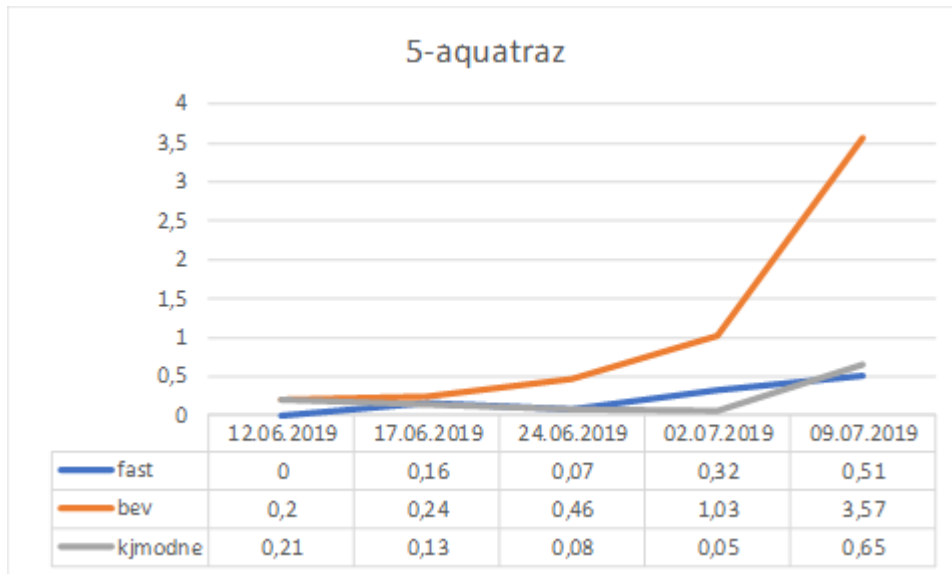


Figur 6.5. Tellinger av fastsittende lus de tre siste år. I alle årene er det en tydelig økning i uke 25-26. Det vil si fra midten av juni. Det samme mønstret kan en se i Eiterfjorden. De første økningene i fastsittende lus registreres den 12. juni i kontrollmerden og den 17.juni i Aquatrazmerden.

Det er en liten tendens til at juvenile øker før bevegelige i kontrollmerden, mens Aquatrazmerden har en markert økning i bevegelige før økning i juvenile. Det blir en spekulasjon om kontrollmerden har noe mer egenproduksjon, mens Aquatrazmerden har mer påslag utenfra.

Håndtering/ løfting av Aquatraz og skjørt i perioden må også tas i betraktning og kan forklare noe av påslaget.





Figur 6.6. A og B. Lusetall fra den kritiske perioden. En kan se en noe forsinket utvikling i Aquatrazmerden i forhold til kontrollmerden både i forhold til tidspunkt og mengde lus. Forskjellene er likevel så små at det kan skyldes vanlig variasjon mellom ulike merder.

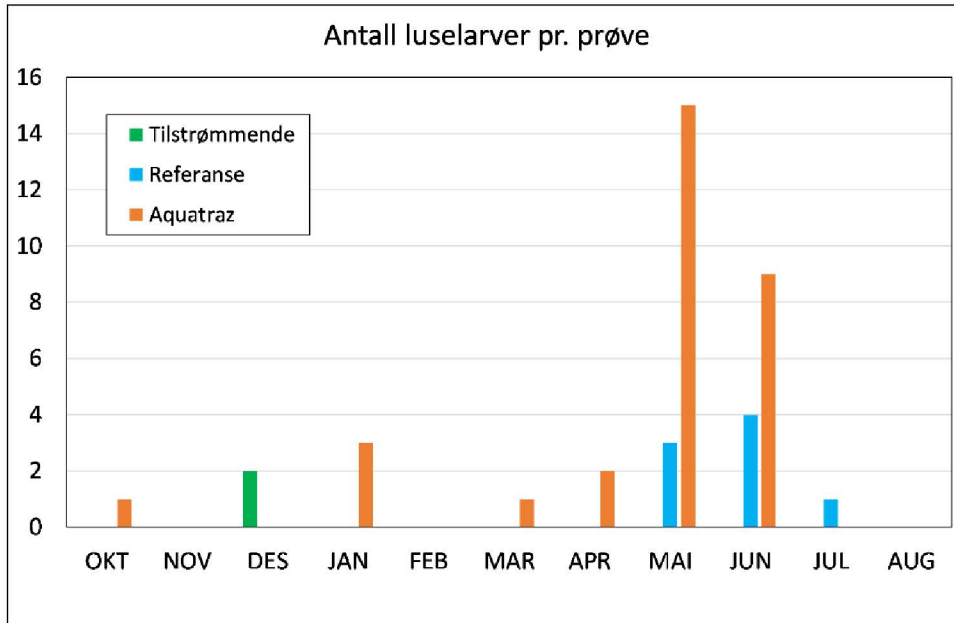
Det reiser seg en rekke spørsmål i forsøket.

- Skyldes den raske økningen i slutten av juni ekstern smitte eller er det egenproduserte luselarver?
- Kan det være at bevegelige lus kommer inn fra nabomerder eller nabolokaliteter?
- Forutsatt at tilførsel av luselarver følger haloklin. Hva er da optimal dybde på Aquatraz?
- Kan man i videre produksjons-strategi unngå å heve Aquatraz (eller skjørt) i den mest kritiske perioden på forsommeren for å ikke slippe inn infektive luse-larver, jmf figur 6.4.
- Hyppigere tellinger, spesielt i perioden 15. juni til 15. juli bør vurderes i senere oppsett for å gi bedre oppløsning/ forklaringsmulighet. Dette er en interessant periode med tanke på luseutvikling senere på året.

6.4 Luselarver i planktontrekk (oktober 2018 – august 2019)

Prøver av dyreplankton er tatt som månedlige vertikale trekk med en såkalt «WP-2» planktonhåv (diameter 75 cm, maskevidde 200 µm) fra 15 m dyp til overflaten på stasjonene: tilstrømmende vann, Aquatrazmerd og kontrollmerd. Tre slike trekk ble slått sammen til én prøve, og konserverte med Lugols løsning. Det viste seg i praksis at sidestrømmen i Aquatrazmerden gjorde at håvtrekket her kan ha blitt noe lenger enn i referansemerden og dermed samlet opp mer materiale enn hva som ville vært tilfelle i et helt vertikalt trekk. Dette kan føre til overestimering av mengden luselarver og dyreplankton i Aquatrazmerden sammenlignet med kontrollmerden og tilstrømmende vann. I laboratoriet ble prøvene gjennomgått under stereolupe med primært fokus på frittsvømmende larvestadier av lakselus, men dominerende arter dyreplankton ble også talt opp (se kap. 8.2). I perioden mai-august 2019 var tettheten av dyreplankton høy, og dominerende arter ble da estimert ved subsampling (4 delprøver talt, og middelverdier ganget opp til hele prøvens volum). Prøvene fra Aquatrazmerden og kontrollmerden inneholdt mye grums (partikler av faeces, fôr-rester og slim), noe som gjorde opparbeidelsen av prøvene vanskelig og tidkrevende. Det ble generelt påvist ganske få larver av lakselus (Figur 6.6.), men det var en økning i Aquatrazmerden i prøvene tatt den 8. mai og den 5. juni 2019. Disse var alle nauplius-larver i stadium I og II. Copepoditt-stadiet forekom derimot

ikke i noen av prøvene. Det kan tenkes at hevingen av Aquatrazmerden for uttak av fisk til slakt den 22. mai 2019 kan ha medført at luselarver fra øvre vannlag har kommet inn i enheten. Dette bør det tas hensyn til i framtiden. Det er også viktig å være klar over at referansemerden hadde luseskjørt (8 m dypt) som gav beskyttelse mot lusesmitte, og at resultatene dermed ikke kan sammenlignes direkte med en konvensjonell merd uten skjørt.



Figur 6.6. Luselarver (nauplius I og II) påvist på tre stasjoner i perioden oktober 2018 - august 2019
Tallene angir antall per prøve.

7. Adferd og akustisk telemetri

Av: Henning Andre Urke, INAQ AS, Jo Arve Alfredsen, NTNU Teknisk Kybernetikk, Torstein Kristensen, INAQ AS, Peder Andreas Jansen, INAQ AS, Per Arne Kjelsvik, NTNU, Waseem Hassan, NTNU, og Eivind Hvam, Thelma Biotel AS.

7.1 Formål

Formålet er å skaffe ny, detaljert kunnskap om fiskens adferd i Aquatraz ved bruk av akustisk telemetri. Tre underpunkt skal belyses:

- Adferd i merd, fordeling av fisken i vanlig drift
- Adferd ved strømsetting
- Adferd og stress ved trenging

7.2 Bakgrunn

Adferd til laks under varierende miljø- og driftsforhold (fôring, strømsetting, trenging, pumping m.m.) 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 vannstrøm og gjennomstrømningen i merden påvirker adferden til laksen. Med bakgrunn i dette ble det planlagt å innhente detaljert kunnskap om adferd hos et representativt utvalg av laks gjennom å merke fisken med akustiske sendere.

7.3 Metodikk

Kartlegging av akustiske transmisjonsforhold i merd med bruk av Midt-Norsk-ringen og i Aquatrazmerd ble utført initielt som grunnlag for endelig spesifisering av mottakere og sendere. Konkret ble det anvendt merker med integrert dybde- og akselerasjonssensor slik at detaljerte studier av laksens bevegelse og svømmedyp kunne gjennomføres. I tillegg ble merdene utstyrt med et nettverk av tidssynkroniserte akustiske mottakere (Thelma Biotel TBR700RT) for å muliggjøre detaljert sporing av fiskens bevegelser i hele merdvolumet (3D). (Hassan m.fl. 2019a).

Det ble merket 30+30 laks ($52,4 \pm 3,9$ cm) i Aquatrazmerd og i kontrollmerd (merd 3) med akustiske sensormerker (Thelma Biotel) den 7. november 2018, hvorav 20 laks ble merket med 9 mm 60-90 sek utsendingsintervall (*normal-tags*) og 10 laks med 7,3 mm med hyppigere utsendingsintervall (*hurtig tags*, 20-40 sek). Merkingen ble gjort etter standard kirurgiprotokoll (Urke m fl 2013), med tillatelse fra Forsøksdyrutvalget (FOTS ID 15491). Sammen med telemetridataene ble det i tillegg registrert fôringstidspunkter/ perioder, dødfisk og andre relevante observasjoner angående hendelser (pumping/ trenging) og driftsforhold i merden, samt miljødata som temperatur og salinitetsprofiler, strøm, lys og værforhold.

7.4 Resultat og diskusjon

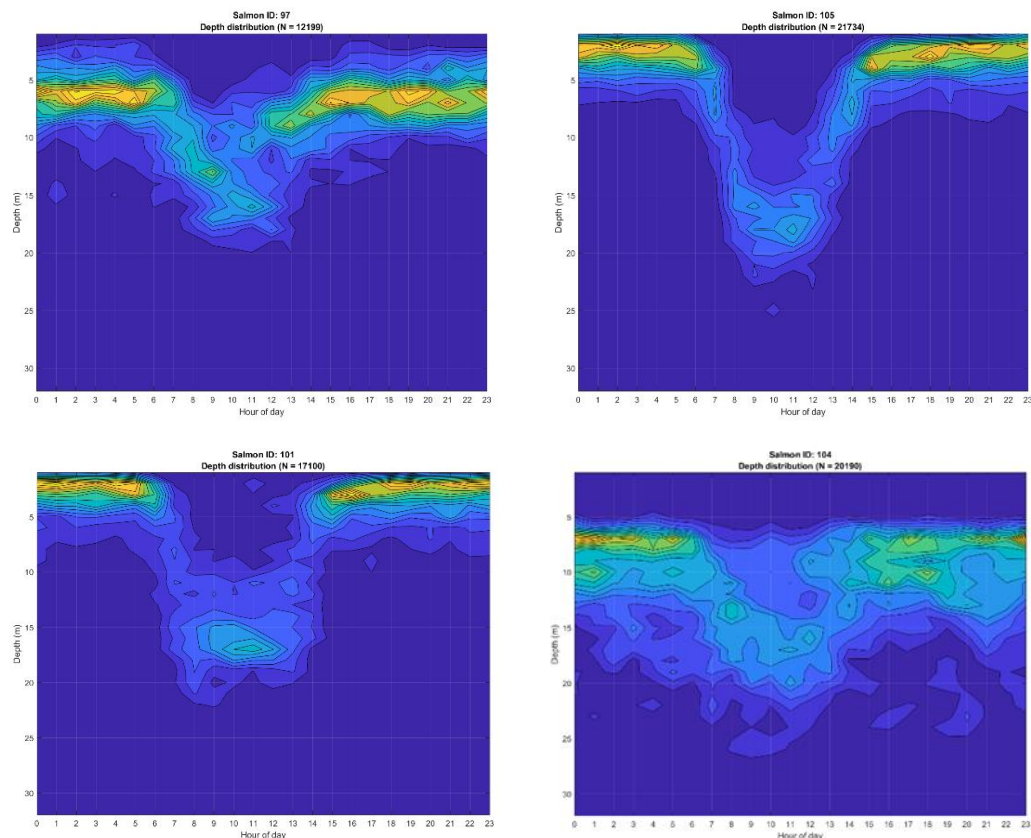
7.4.1 Registreringer

Tabell 7.1. Registreringer fra Aquatrazmerd og kontrollmerd/ referansemerd.

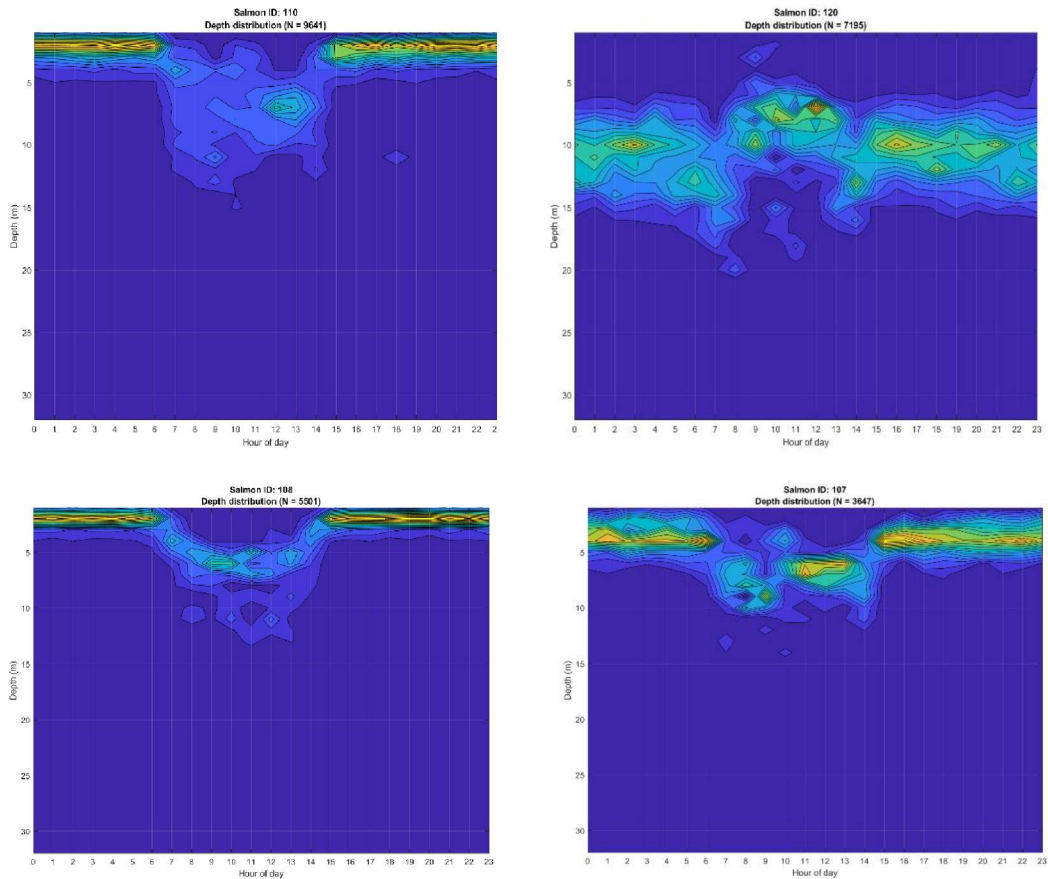
Aquatraz	Referansemerd
<ul style="list-style-type: none"> • ~1.850.000 unike deteksjoner 	<ul style="list-style-type: none"> • ~1.750.000 unike deteksjoner
<u>Normal-tags (7. nov. - 10. mai)</u>	<u>Normal-tags (7. nov. - 10. mai)</u>
<ul style="list-style-type: none"> • ~890.000 deteksjoner • ~268 deteksjoner/fisk*dag • 18 av 20 aktive den 10. mai (184 dager) 	<ul style="list-style-type: none"> • ~867.000 deteksjoner • ~277 deteksjoner/fisk*dag • 17 av 20 aktive den 10. mai (184 dager)
<u>Hurtig-tags (7. nov.- 5. feb.)</u>	<u>Hurtig-tags (7. nov. -5. feb.)</u>
<ul style="list-style-type: none"> • ~960.000 deteksjoner • ~1200 deteksjoner/fisk*dag • 9 av 10 aktive til 24. jan. (78 dager) • Tre siste går ut 5. feb. (90 dager) 	<ul style="list-style-type: none"> • ~883.000 deteksjoner • ~1200 deteksjoner/fisk*dag • 8 av 10 aktive til 26. jan. (80 dager) • Siste går ut 12. feb. (97 dager)

7.4.2 Dybdebruk

Dybdebruk til fire laks i Aquatrazmerden og i kontrollmerden gjennom døgnet i november/ desember er vist i henholdsvis Figur 7.1 og 7.2.

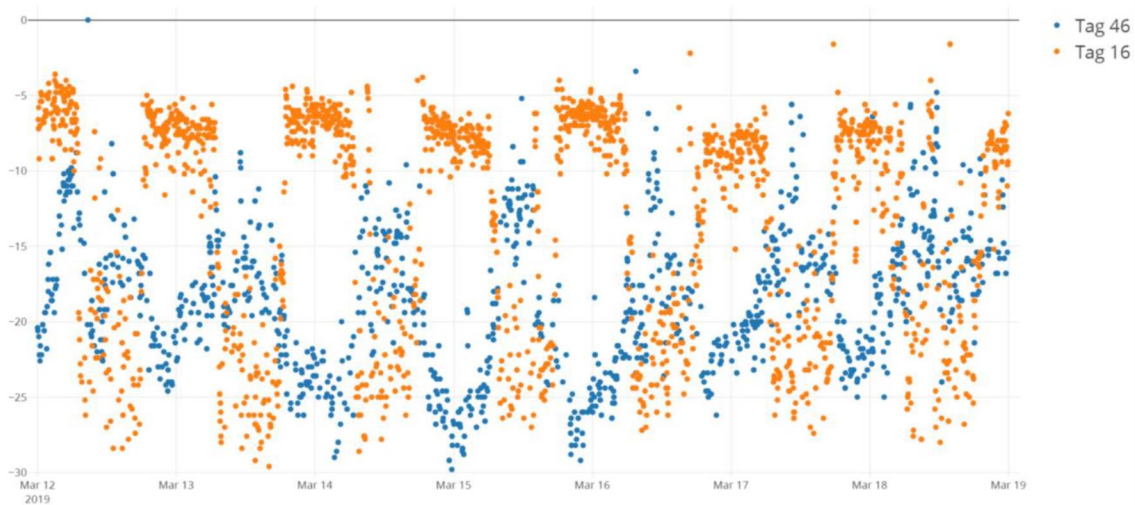


Figur 7.1. Dybdetthetskontur gjennom hver time av døgnet for fire laks i Aquatraz over en periode på 24 dager i november/desember 2018.



Figur 7.2. Dybdekontur gjennom hver time av døgnet for fire laks i kontrollmerden over en periode på 24 dager i november/ desember 2018.

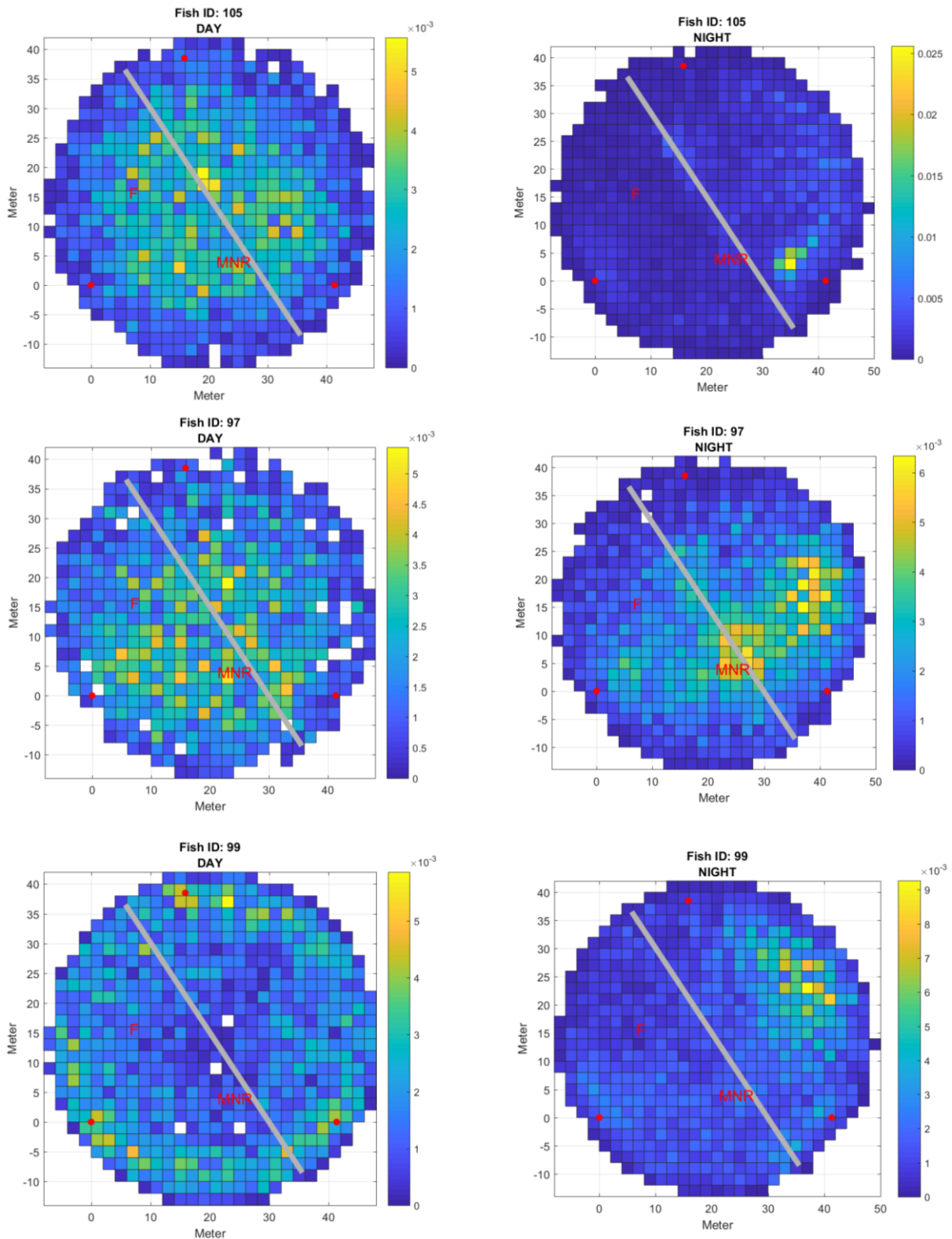
En tydelig variasjon i dybdebruk ble observert for all fisk gjennom døgnet og ulike fisk har ulike dybdepreferanser. Det dominerende atferdsmønsteret er at laksen står relativt grunt og samlet om natten, og at dette bryter opp på dagen da laksen fordeler seg over store deler av merddybden og gjennomsnittlig dypere enn om natten, sannsynligvis som en respons på lys og føring. Figur 7.3 viser imidlertid to laks i Aquatrazmerden som opplagt er i motfase med hensyn til dybdebruk i en uke i mars.



Figur 7.3. Dybdebruk til to laks (ID 16 og 46) i Aquatraz 12.- 19. mars 2019.

7.4.3 Horisontal fordeling

Figur 7.4 viser eksempel på horisontal fordeling dag/ natt til tre laks. For alle de tre laksene er det tydelig forskjell på horisontal fordeling om dagen og natten. Om dagen registreres fisken i praktisk talt hele utbredelsen av merden, mens om natten er laksene tydelig mer stedbundne. Dagadferden er sannsynligvis knyttet til jakten på fôr. Om natten står fisken sannsynligvis mer eller mindre stedbundet og svømmer rolig motstrøms. Det er også tydelige individuelle forskjeller i adferd mellom de tre laksene. Om dagen registreres to av laksene hyppigst mer i sentrum av merden, mens én av laksene tydeligvis svømmer rundt i randsonen av merden. Om natten utpreger én laks (ID 105) seg som særlig stedbunden.

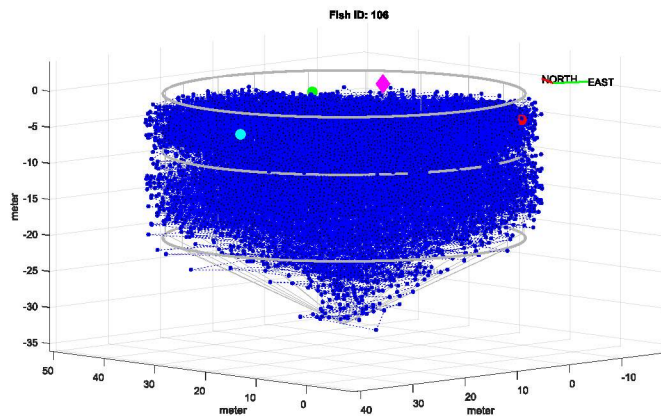


Figur 7.4. Horisontal fordeling av 3 laks (ID 97, 99 og 105) i Aquatrazmerden dag (venstre panel) og natt (høyre panel) over en periode på 25 dager i november/desember 2018. Fordelingene er vist som frekvenser av registreringer i hver rute i horisontalplanet av Aquatrazmerden der gult representerer hyppige registreringer og blått sjeldne registreringer. *F* er utføringssted; *MNR* er plassering av Midt-Norsk-ring (up-welling system); røde prikker plassering av mottakere, grå tverrgående strek er gangbru.

7.4.4 Posisjonering

Kontinuerlig bestemmelse av individenes posisjoner i merdvolumet muliggjøres ved at tre eller flere mottakere (hydrofoner) plasseres i kjente posisjoner langs kanten av merden, og at mottakerne er nøyaktig synkroniserte i tid. Enheten som synkroniserer klokken og bestemmer posisjon, den såkalte overflatemodulen, er basert på satellittnavigasjon (GNSS) og har blitt videreutviklet og forbedret i forbindelse med Aquatrazprosjektet. Målinger tilsier at fiskens posisjon kan bestemmes med en nøyaktighet bedre enn 2.8 meter i 95% av tilfellene. Figur 7.5 viser et eksempel på 3D-posisjoner generert av systemet for en laks i Aquatrazmerden.

Posisjoneringssystemet er gjennom dette prosjektet brakt frem til et funksjonelt nivå som muliggjør detaljerte studier av laksens atferd og respons over tid. Dette inkluderer også en ny løsning for trådløs overføring av data fra merden slik at informasjon om fiskens atferd blir tilgjengeliggjort for operatører i sanntid gjennom internett. Denne muligheten vil brukes aktivt i videre faser av prosjektet til å belyse viktige spørsmål knyttet virkningen av miljø og operasjoner på fisken i det nye merdkonseptet.



Figur 7.5. Eksempel på data generert av fiskeposisjoneringssystemet anvendt i Aquatraz.

7.4.5 Forflytningsdistanser

Det er her gjort en foreløpig analyse av forflytning av individuelle fisk merket med hurtigsendende akustiske merker i henholdsvis Aquatrazmerd og kontrollmerd. I analysen er det beregnet forflytningsdistanse (distanse) mellom etterfølgende registreringer for enkeltfisk i de to merdene. Kun distanser beregnet mellom registreringer med mindre enn ett minutt mellomrom ble tatt inn i analysen. Distanse ble beregnet med følgende formel:

$$\text{Distanse} = \sqrt{(x1 - x0)^2 + (y1 - y0)^2 + (z1 - z0)^2},$$

Der x, y og z er koordinatene for registreringer for to etterfølgende tider 0 og 1.

Analysen dekker 25 dager fra 07.11.2018. Det ble totalt merket 10 fisk med hurtigsendende akustiske merker i både Aquatrazmerden og i kontrollmerden. På grunn av uforutsett overførsel av lydsignal fra fisken i Aquatrazmerden til hydrofonene på kontrollmerden, ble antall registreringer av fisk i kontrollmerden vesentlig redusert, særlig på dagtid som her er definert til mellom kl 0900 og kl 1500. Ved at vi utelot alle registreringer med mer enn ett minutt mellomrom, ble antall individer fra kontrollmerden i analysen redusert til 5 fisk. Fra Aquatrazmerden var det data på distanse fra alle 10 fisk. Dataene ble analysert med en linjer regresjonsmodell med individ som tilfeldig effekt:

$\text{Log}(\text{Distanse}+1) \sim \text{dagnr} + \text{faktor}(\text{dagtid}) + \text{faktor}(\text{merd})$

Statistikk for regresjonsanalysen er gitt i tabell 7.2.

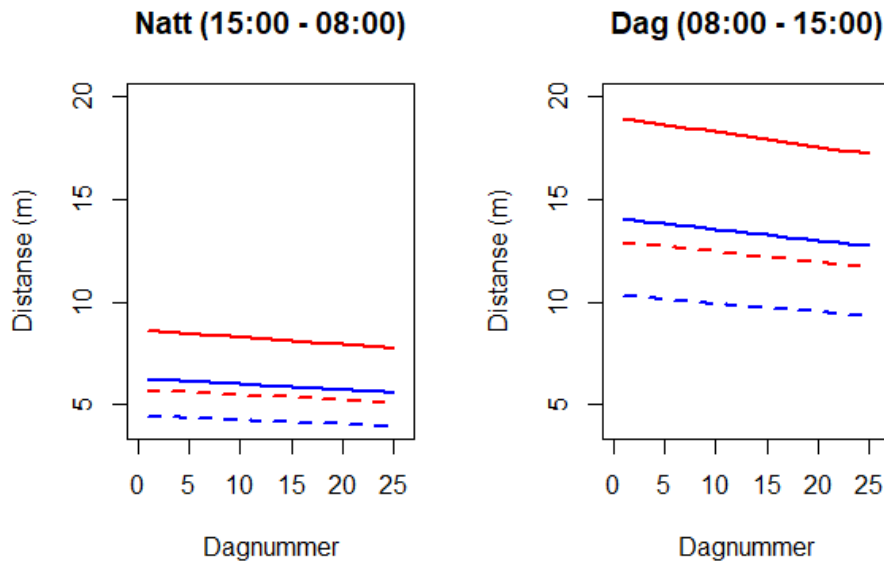
Tabell 7.2. Beregnete parametere (fikserte effekter) for regresjonsanalysen for distanse som funksjon av antall dager etter startdato, merd og tid på døgnet (dag (0900 – 1500)/natt).

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
Intercept	1.84	3.608e-02	1.328e+01	51.088	<2e-16 ***
Dagnr	-0.0044	3.919e-04	6.317e+04	-11.362	<2e-16 ***
Dagtid	0.74	7.426e-01	6.325e+04	104.375	<2e-16 ***
Merd	0.16	1.653e-01	1.302e+01	2.659	0.0196 *

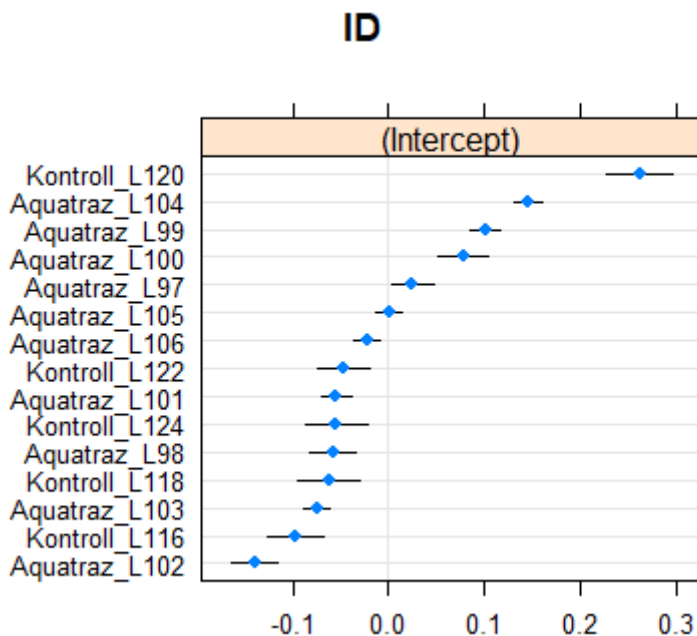
Resultatene fra analysen viste at forflytningsdistansene var omtrent doblet om dagen sammenlignet med natt. Det var også signifikant forskjell mellom merdene, med gjennomsnittlig noe større forflytningsdistanser i kontrollmerd sammenlignet med Aquatrazmerd (Tabell 7.3.). Endelig var det en marginal effekt av dagnummer på forflytningsdistanse, slik at distansene gikk noe ned over tid (Figur 7.6).

Tabell 7.3. Forflytningsdistanser mellom registreringer med mindre enn ett minutt mellomrom for merket fisk fra Aquatraz-merd og kontrollmerd.

	Dagtid		Nattestid	
	Median	25 - 75% kvantiler	Median	25 - 75% kvantiler
Aquatrazmerd	12.59	7.30 - 18.82	4.86	2.79 - 8.24
Kontrollmerd	13.27	8.82 - 19.14	5.88	3.70 - 9.32



Figur 7.6. Modellberegnete distanser (meter) merket fisk forflytter seg mellom registreringer som er gjort med mindre enn ett minutt mellomrom. Røde linjer representerer beregninger for de to individuelle fiskene med hhv høyest (hel linje) og lavest (stiplet linje) tilfeldig effekt i kontrollmerd (Kontroll_L120 og Kontroll_L116; se Figur 7.7). Blå linjer representerer tilsvarende individuell fisk fra Aquatrazmerd (Aquatraz_L104, Aquatraz_L102; se Figur 7.7).



Figur 7.7. Tilfeldige effekter ($\pm 95\%$ CI) beregnet for ulike individ av laks, der 5 individ stammer fra kontrollmerden og 10 individ fra Aquatrazmerden.

Det var også betydelig individuell variasjon i forflytningsdistanse, der særlig en fisk fra kontrollmerden skilte seg ut med lange distanser (Figur 7.7). Denne fisken beveget seg over større distanser enn de andre merkede fiskene i kontrollmerden både på dagtid (median = 15.8 m) og nattestid (median = 7.9 m).

7.4.6 Fordelinger i vannvolum

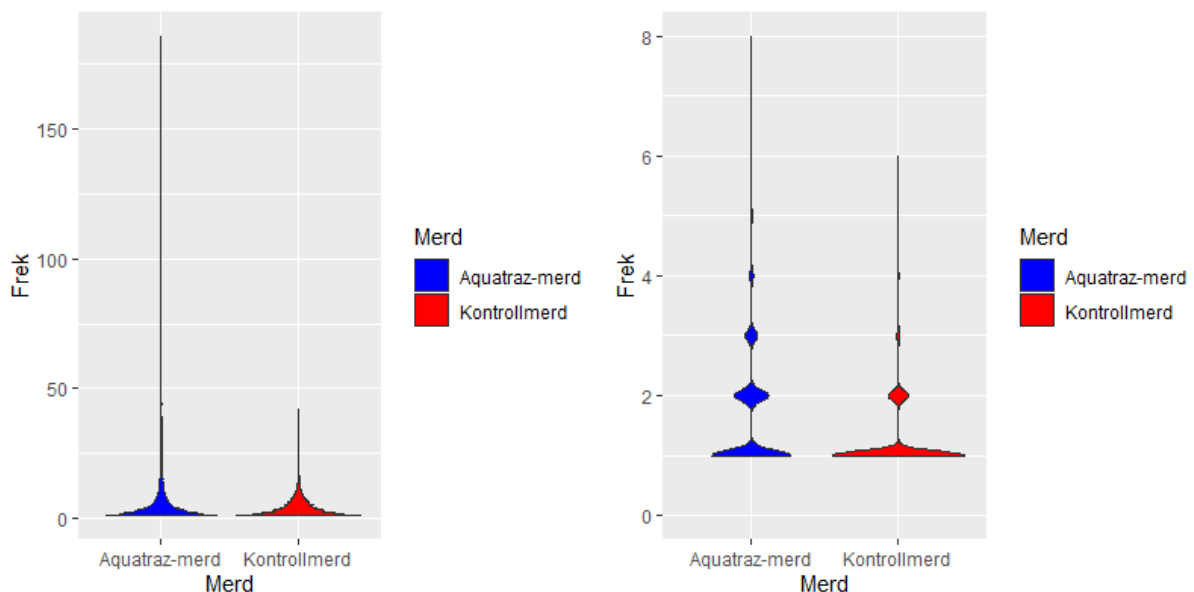
Det ble også gjort en foreløpig analyse av registreringer i ulike vannvolum i Aquatrazmerden og kontrollmerden. Alle registreringer ble da tilknyttet et gitt vannvolum på 1 m³ i merdene og frekvensen av antall registreringer i alle ulike vannvolum med registreringer ble talt opp, som et mål på hvor hyppig ulike vannvolum i de to merdene ble benyttet på dagtid og på nattetid.

Tabell 7.4. angir hvor mange ulike vannvolum på 1 m³ det ble registrert fisk i for de to merdene.

Tabell 7.4. Antall ulike vannvolum på 1 m³ med registreringer av merket fisk i perioden 07.11.-12.12.2018.

	Totalt	Natt	Dag
Aquatrazmerd	32119	27542	18511
Kontrollmerd	20089	19113	4613

Et såkalt fiolin-plot illustrerer frekvensfordelingen av registreringer i de ulike vannvolumene (Figur 7.8).



Figur 7.8. Fiolinplot som angir frekvensfordelingen av registreringer i ulike 1 m³ vannvolum i Aquatrazmerden og kontrollmerden. Venstre panel er for nattetid (15:00 - 08:00) mens høyre panel er for dagtid 08:00- 15:00).

Merk at det er veldig stor forskjell på skalaene på y-aksen for plottet som omfatter dagtid (høyre panel) eller nattetid (venstre panel). På dagtid angir plottet tydelig andelen av vannvolum med hhv. 1, 2 og 3 registreringer som fremkommer som bobler der arealet er relativt til andel volum med gitt antall registreringer. For Aquatrazmerden var maksimum antall registreringer i gitte vannvolum lik 8 på dagtid. For kontrollmerden var maksimum antall registreringer i et gitt vannvolum lik 6 på dagtid. På nattetid var maksimalt antall registreringer i et gitt vannvolum i Aquatrazmerden lik 186, mens tilsvarende fra kontrollmerden var maksimalt 42 registreringer. De hyppigste registreringene var i dyp på større enn 10 m om dagen og mindre enn 5 m om natten, for begge merder.

Det var bemerkelsesverdig stor forskjell i bruken av vannvolumene på dagtid og nattetid. På dagtid var det åpenbart mye jevnere bruk av hele vannvolumet, blant annet indikert ved at varians/ gjennomsnitt i frekvensfordelingen av registreringer i ulike 1 m³ vannvolum var mye høyere om natten enn om dagen (Aquatrazmerd: 8.13 natt vs. 0.52 dag; Kontrollmerd: 3.1 natt vs. 0.2 dag). Disse varians/ gjennomsnitt resultatene kan også tyde på at registreringer i ulike vannvolum er noe mer skjevfordelt i Aquatrazmerden enn i kontrollmerden, noe som kan reflektere at fisken har større preferanse for enkelte vannvolum i Aquatrazmerden sammenlignet med kontrollmerden.

7.5 Oppsummering

Det er innhentet detaljert informasjon om individadferd til laks i Aquatrazmerd og kontrollmerd fra november 2018 frem til utslakt i august 2019. Analyser og publisering av datasett med 3D-sporing av merket fisk, med laksens bevegelse og bruk av Aquatrazmerden i forhold til drifts- og miljøforhold og dybde og områdebruk (volum) sammenlignet med referansemerden er under utarbeidelse (Jansen et al). Et eksperimentelt system for sanntidsovervåking av fisk - «Internet of Fish» - ble utviklet og prøvd ut i forbindelse med prosjektet (Hassan m.fl. 2019b; Kjelsvik 2019). Forsøk på å dokumentere fiskens respons før, under og etter trenging var planlagt ved første utslakting. Plasseringen av akustiske mottakere var ikke optimal gjennom denne operasjonen, noe som resulterte i at datafangsten ble redusert under selve trengingen. En videreføring i biologiprogram II vil ha et større fokus på å sikre datafangst under trengingsepisoder, samt muligheten til å se på eventuelle treningseffekter knytt til et videreutviklet og forbedret strømsettingssystem i Generasjon II.

8. Alger, dyreplankton og vannkvalitet

Av: Åse Åtland, Forskningsleder, NIVA, Sara Calabrese, Forsker, NIVA, Christina Sørensen, Postdoc, NIVA, Anders Hobæk, Seniorforsker, NIVA og Bibiana Gomez Crespo, Forsker, Niva.

8.1. Formål og bakgrunn

Målet med dette arbeidet har vært å sammenligne produksjonsmiljøet i utviklingskonsesjonsenheten Aquatraz 1 opp mot de konvensjonelle merdene som blir brukt per i dag av MNH. Miljøet (vannkvaliteten og vannbårne agens) blir også dokumentert i det tilstrømmende vannet for å få et grunnlag for å vurdere potensielle utfordringer på lokaliteten knyttet til vannmiljøet.

Vannprøver for mikroalger og zooplankton er analysert fra tilstrømmende vann, Aquatrazmerd og referansemerd en gang per måned. Algeprøvene er tatt med vannhenter fra 7 og 15 m dyp i tilstrømmende vann og fra 7 m dyp i Aquatrazmerd og referansemerd (tabell 8.1). Håvtrekk for zooplanktonprøver er tatt fra 15 m dyp opp til overflaten på alle prøvetakingsstasjonene (tabell 8.1).

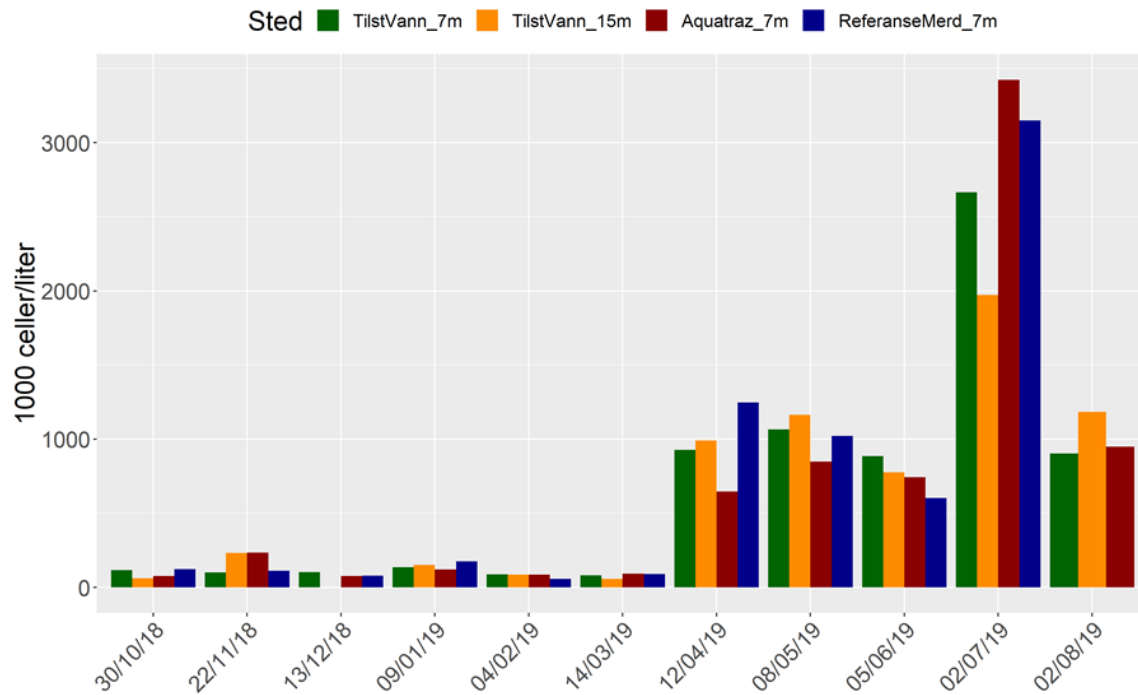
Tabell 8.1. Prøvetakingsstasjoner for vannbårne agens på lokaliteten Eiterfjorden.

Målestasjon	Alger: Prøvetakingsdyp (vannhenter)		Zooplankton: Prøvetakingsdyp (håvtrekk)
Tilstrømmende vann	Dyp 1: 7 m	Dyp 2: 15 m	15 m
Aquatrazmerd	7 m		15 m
Referansemerd	7 m		15 m

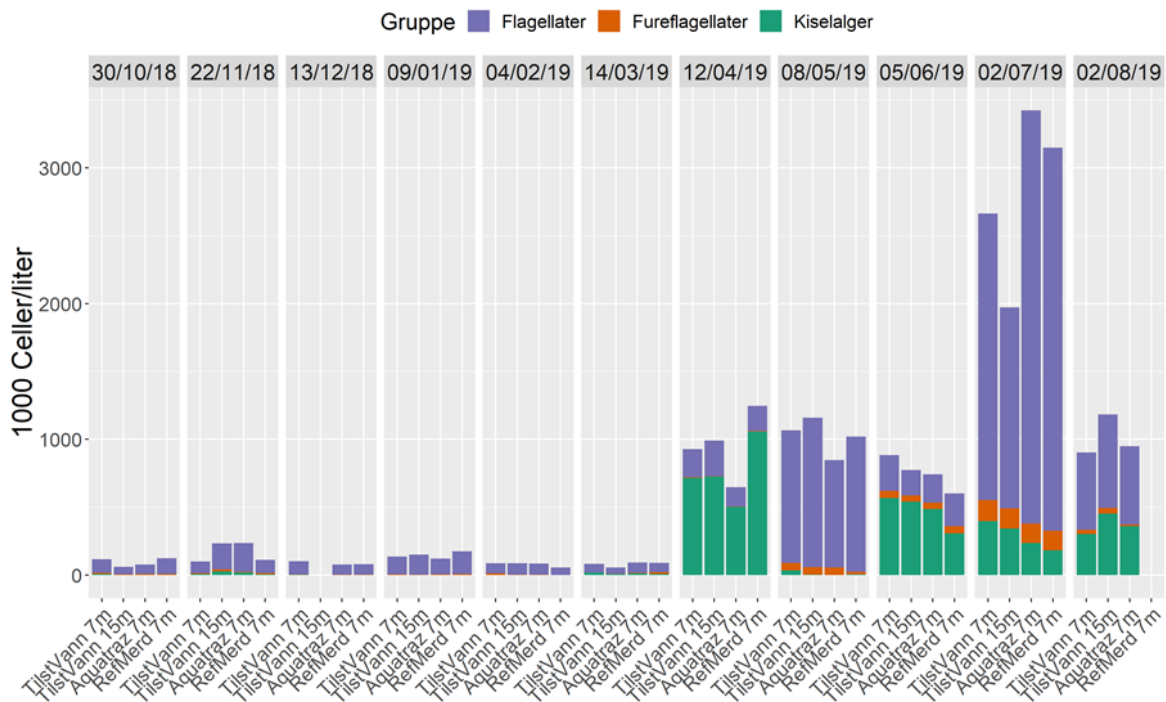
8.2. Algesammensetning

Prøvetakingsplanen er fulgt med to mindre unntak: i desember 2018 ble det ikke tatt prøve på 15 m dyp i tilstrømmende vann, og i august 2019 ble det ikke tatt prøver i referansemerd da denne allerede var tømt og utslaktet.

Resultatene viste at det ikke var systematiske forskjeller i algemengde eller artssammensetning mellom de ulike prøvetakingspunktene, og at mikroalgesamfunnet fulgte den normale årlige arts- og gruppesammensetningen for norske kystområder. Celletallene var svært lave fra oktober 2018 til mars 2019 (figur 8.1.) og var i denne perioden dominert av flagellater (figur 8.2.). Fra april 2019 til august 2019 var antall celler høyere, og de høyeste celletallene ble registrert i juli 2019 (figur 8.1.). I april 2019 antall var algesamfunnet dominert av kiselalger (figur 8.2.), og dette er vanlig å observere under vårblomstringen. Fra mai til august 2019 var algesamfunnet hovedsakelig dominert av flagellater (figur 8.2.). Det var svært lave konsentrasjoner av giftige og skadelige alger i hele perioden, og var sammenlignbare mellom de fire prøvetakingspunktene på hver prøvetakingsdag. Det er viktig å være klar over at referansemerden hadde luseskjørt ned til 8 meters dybde. Dersom en hadde sammenlignet Aquatrazmerden med en åpen merd uten luseskjørt er det grunn til å tro at en ville sett større forskjeller i algesammensetning.



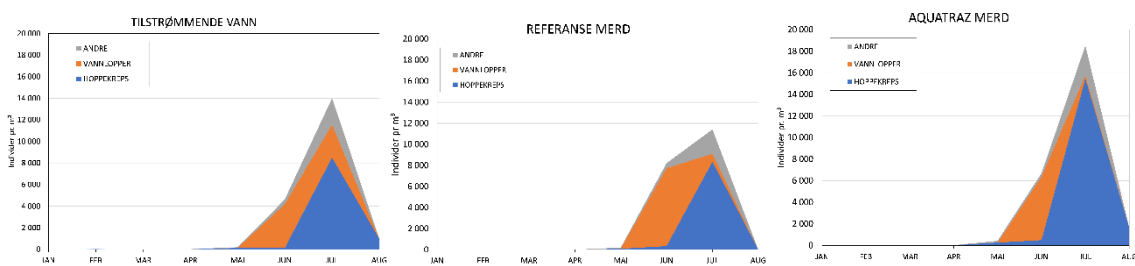
Figur 8.1. Totalt antallet celler (angitt i 1000 celler/liter) i prøvene fra stasjonene: tilstrømmende vann 7 m (grønn), tilstrømmende vann 15 m (oransje), Aquatrazmerd 7 m (rød) og referansemerd 7 m (blå) i perioden fra oktober 2018 til august 2019.



Figur 8.2. Total antall celler (1000 celler/liter) av hovedgruppene (Flagellater-blå, fureflagellater-oransje og kiselalger-grønn) i tilstrømmende vann 7 m og 15 m, samt Aquatrazmerd og referansemerd fra oktober 2018 til august 2019.

8.3. Dyreplankton

Prøver av dyreplankton er tatt som vertikale trekk med en WP-2 planktonhåv (diameter 75 cm, maskevidde 200 µm) fra 15 m dyp til overflaten. Tre slike trekk ble slått sammen til én prøve, og konserverte med Lugols løsning. I laboratoriet ble prøvene gjennomgått under stereolupe med primært fokus på frittsvømmende larvestadier av lakselus (se kap. 6), men dominerende arter dyreplankton ble også talt opp. I perioden mai-august var tettheten av dyreplankton høy, og dominerende arter ble da estimert ved subsampling (4 delprøver talt, og middelverdier ganget opp til hele prøvens volum) (figur 8.3.). Prøvene fra Aquatrazmerden og referansemerden inneholdt mye grums (partikler av faeces, fôr-rester og slim), noe som gjorde opparbeidelsen av prøvene vanskelig og tidkrevende. I tillegg til pelagiske arter forekom en del arter som er knyttet til fast substrat. Disse antas å stamme fra vegger, nøter, tauverk osv. ved anlegget. Tettheten av dyreplankton var ganske lav gjennom vinteren og våren, men økte kraftig fra mai med oppvekst av vannlopper (*Evadne nordmanni* og *Podon leuckartii*). Pelagiske arter av hoppekreps var til stede gjennom hele perioden, og tettheten av disse økte kraftig i juli (figur 8.3.). De dominerende var arter av slektene *Calanus*, *Acartia*, *Centropages* og *Temora*. I august var tettheten lavere. Det er usikkert hva som gjør at antall individer av dyreplankton er høyere i Aquatrazmerden enn i referansemerden og det tilstrømmende vannet, men det kan muligens delvis forklares av at strømsettingen i Aquatrazmerden førte til at mer vann ble filtrert gjennom håven i håvtrekkene her. I det videre biologiprogrammet vil en arbeide nærmere med å se på om dette er en reell forskjell eller om det er et resultat av prøvetakingsmetodikk og/ eller strømbildet i Aquatrazmerden.



Figur 8.3. Tetthet av dyreplanktonets hovedgrupper (hoppekreps - blått, vannlopper - oransje og andre - grått) ved tre prøvepunkter gjennom i perioden oktober 2018 - august 2019.

8.4. Vannkvalitet

Oksygen, temperatur og salinitet har vært overvåket i sanntid med fastmonterte sensorer på 7 m dyp. Sensorene har vært online og parameterne har blitt logget hvert 10. minutt. Sensorer har vært montert i tilstrømmende vann i en nærliggende tom merd, i referansemerden og i Aquatrazmerden.

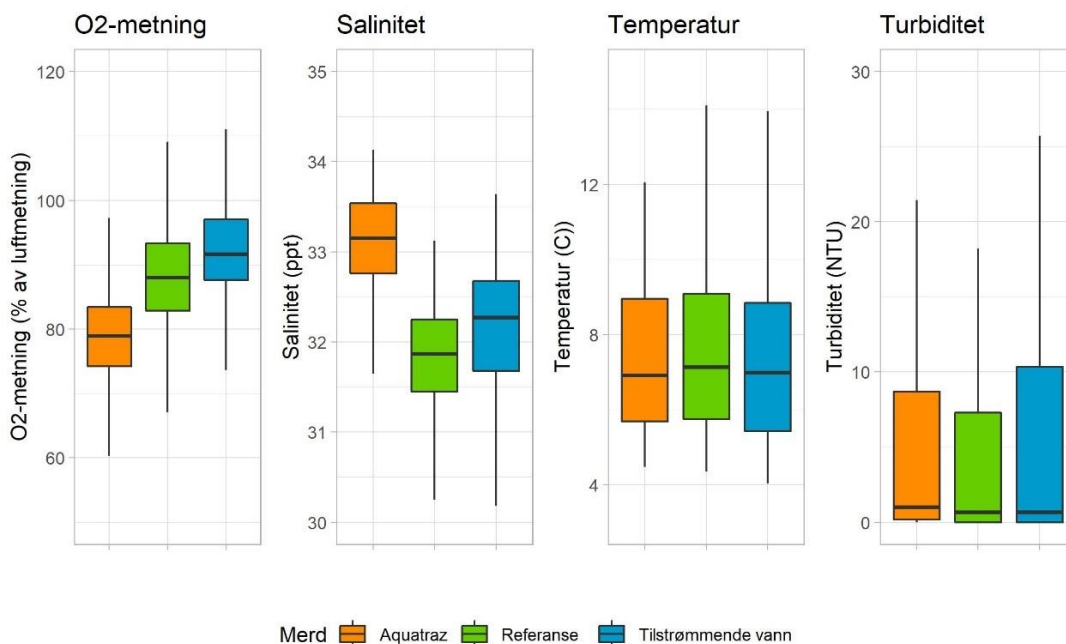
Aquatrazmerden har systematisk lavere O_2 -nivåer enn både referansemerden og tilstrømmende vann (figur 8.4.). Effekten av lave O_2 -nivåer på produksjon (vekst) og dyrevelferd avhenger i stor grad av tetthet og temperatur. I periodene med lavere tetthet og lavere vanntemperatur om vinter og vår, ligger de observerte oksygenivåene godt over nivåer hvor man ville kunne se en adferdsendring hos fisken (reduert appetitt), eller livstruende nivåer (såkalt kritisk oksygenivå). Derimot nærmer man seg disse nivåene når vanntemperaturene blir høyere i juli (se diskusjon av temperatur under). Det ble også observert redusert appetitt hos fisken i Aquatrazmerden og oksygenering av vannet i Aquatrazmerden ble startet den 04.07.2019. Det ser altså ut til å kunne være høyere risiko for periodevis lavere oksygenivåer i Aquatrazmerden sammenlignet med referansemerd. For videre produksjon i Aquatrazmerden og særlig ved høyere tetthet er det viktig å følge oksygenivåene nøye i perioder med større tetthet og høyere vanntemperatur slik at oksygenering kan igangsettes for å

ivareta god dyrevelferd. I neste generasjon Aquatraz vil også bruk av 4 i stedet for 2 strømsettere trolig påvirke disse forholdene til det bedre.

En annen viktig observasjon fra sensordataene er at Aquatrazmerden ser ut til å virke stabiliserende på O₂-nivåene. Forskjellen mellom daglig minimum og maksimum O₂-nivå er langt større i referansemerden enn i Aquatrazmerden. Median forskjell mellom min og max i Aquatrazmerden er 10 % mens den er 18 % for referansemerden (i tilstrømmende vann er forskjellen på 9 %).

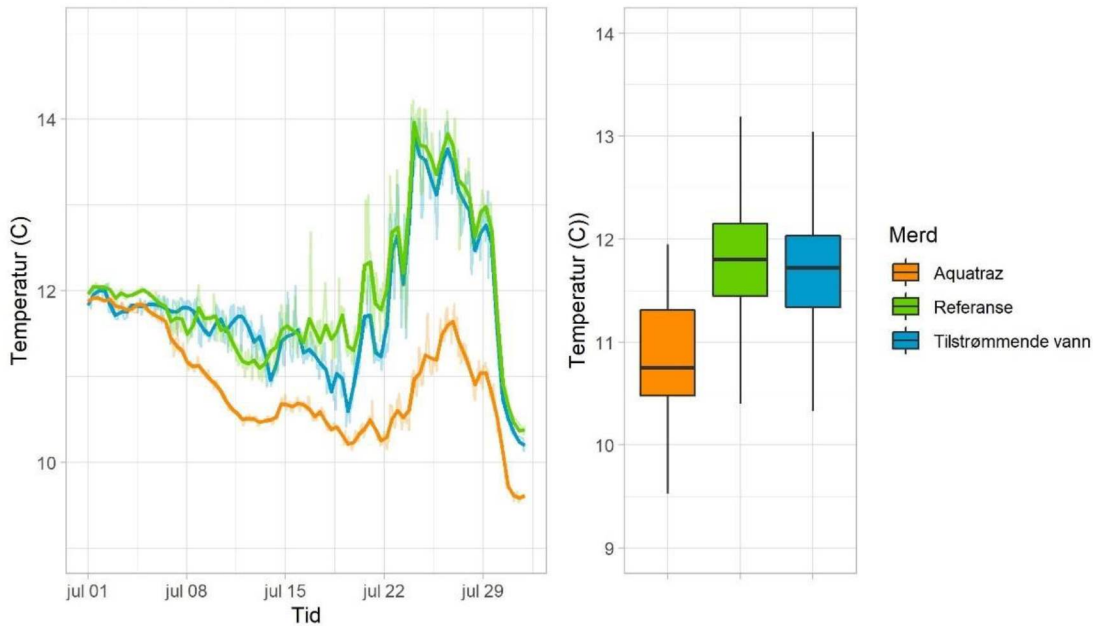
Vannet i Aquatrazmerden har gjennomgående høyere salinitet enn vannet i referansemerden og tilstrømmende vann (figur 8.4.). Dette skyldes nok at vannet som kommer inn i Aquatrazmerden kommer fra større dyp med høyere salinitet.

Når hele perioden ses under ett, er temperaturen lik mellom de tre målestasjonene og forskjellen mellom merdene i daglig temperatur-differanse er minimal (selv om Aquatrazmerden har noe lavere differanse mellom min og max enn referansemerden). Likevel kan det observeres forskjeller periodevis. I juli lå temperaturen i Aquatrazmerden nesten konsekvent under temperaturene i referansemerden og tilstrømmende vann (som for øvrig var tilnærmet like) (figur 8.5.). Dette kan ha vært gunstig da det på samme tid var lave O₂-nivåer og relativt høy tetthet i merden. Lavere vanntemperaturer reduserer oksygenbehovet til fisken og kan dermed redusere konsekvensene av lavt O₂-nivå.



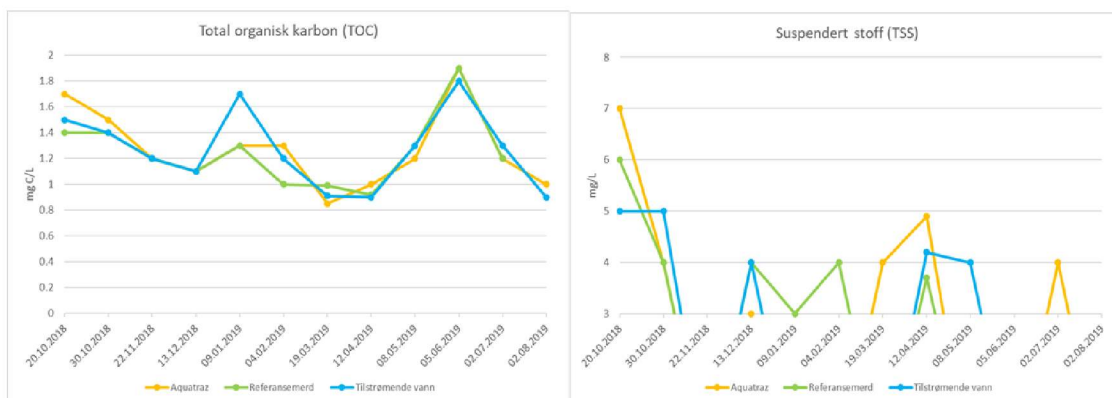
Figur 8.4. O₂-metning (i % av luftmetning), salinitet (ppt), temperatur (°C) og turbiditet (NTU) målt ved 7 m i Aquatraz (oransje), referansemerd (grønn) og tilstrømmende vann (tom merd, blå).

Vanntemperaturer i Juli 2019



Figur 8.5. Temperatur (°C) målt ved 7 m i Aquatrazmerd (oransje), referansemerd (grønn) og tilstrømmende vann (blå) fra 01. til 31. juli 2019.

Det ble tatt ut vannprøver for sammenligning av vannets partikkelinnhold mellom tilstrømmende vann, Aquatrazmerden og referansemerden. Prøver er tatt med vannhenter fra 7 m dyp på samtlige prøvetakingsstasjoner. Partikkelinnholdet måles som total organisk karbon (TOC) og total suspendert stoff (TSS) og har blitt analysert av Kystlab AS. Resultatene er blitt vurdert av NIVA. I hele perioden var TOC relativt lav på alle prøvetakingsstasjonene (figur 8.6). Det er ingen systematiske forskjeller mellom målepunktene i TOC. Ved første uttak var TSS noe høyere i alle prøvetakings-stasjonene, men ved øvrige prøveuttak er TSS under 5 mg/ml. I 6 av de 12 prøvene fra Aquatrazmerden var TSS under den nedre deteksjonsgrensen på 3 mg/L. Det er heller ikke for TSS noen systematisk forskjell mellom måletakingsstasjonene. Det er altså ingen indikasjoner på akkumulering av partikler i Aquatrazmerden eller i referansemerden, siden det ikke er noen trend til økte mengder TOC eller TSS i disse enhetene sammenlignet med tilstrømmende vann. Det er ingenting som tilsier at mengden partikler i vannet vil kunne påvirke fiskehelsen negativt.



Figur 8.6. A) Total organisk karbon (TOC, mg C/L) og B) Suspendert stoff (TSS, mg/L) i prøver fra Aquatrazmerd 7 m (oransje), referansemerd 7 m (grønn) og tilstrømmende vann 7 m (blå).

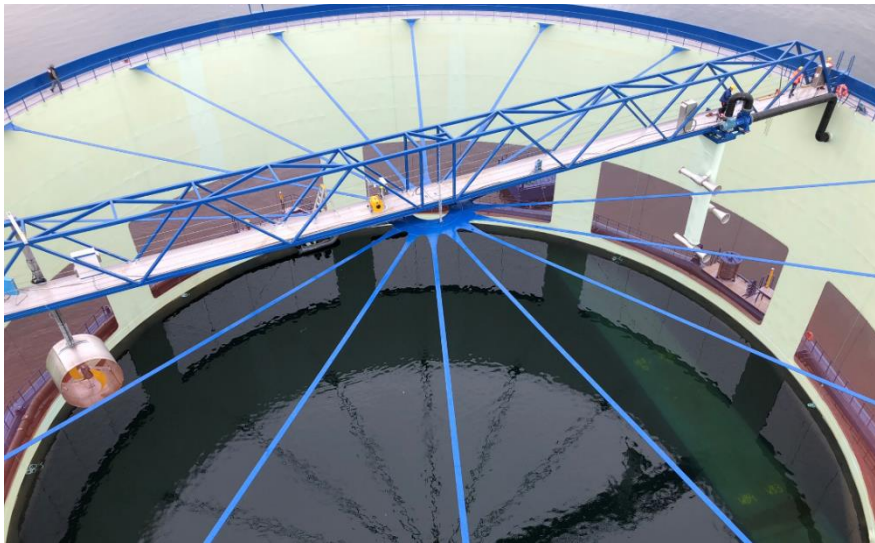
9. Vannstrøm

Av: Steingrim Holm, prosjektleder Aquatraz, Midt-Norsk Havbruk

9.1. Formål og bakgrunn

En utfordring med semi-lukkede merdsystemer er å sikre god vannkvalitet i det «lukkede» skjørtvolumet. Det er kjent fra bruk av luseskjørt på konvensjonelle merder at dette volumet ofte får for dårlig vannutskiftning om vannutskiftningen utelukkende baseres på naturlig utveksling som følge av strøm og diffusjon.

Pilotmerden (Aquatraz 1) er utrustet med 2 stk. strømsettere som setter opp en sirkulær vannstrøm i merden, se figur 9.1.



Figur 9.1. Aquatraz 1 med propellstrømsetter og ejetor.

Hensikten med strømsetterne er todelt. For det første skaper de en sirkulær vannstrøm som kan bidra til å trimme laksen. For det andre bidrar sirkulasjonen til en vesentlig vannutskiftning i merden, hvor nytt vann suges inn i senter og gammelt vann trenges ut til siden og ned langs skjørtet før det ledes ut av merden.

9.2. Analyser og målinger

I forbindelse med design av Aquatraz 1 ble det gjennomført omfattende Computational Fluid Dynamics (CFD) analyser for å kartlegge effekt av strømsettere på strømning og vannutskiftning i merden. CFD analysene viser at strømsetterne gir svært god vannutskiftning i merden.

Aquatraz 1 ble utrustet med to forskjellige strømsettertechnologier, henholdsvis ejetor og propell, for å teste ut hvilken teknologi som er best egnet for vannutskiftning i Aquatraz. Strømningsforsøk ble gjennomført på lokalitet Eiterfjorden i perioden 30.10-01.11.2018, hvor både horisontal og vertikal vannbevegelse ble undersøkt. Strømsetterne (ejetor og propell) ble testet hver for seg, og i kombinasjon. Retningen og magnituden av de horisontale og vertikale strømkomponentene viste seg å være generelt mer stabile og større ved propellstrømsetting, enn ved ejetorstrømsetting.

I tillegg til ovennevnte, er effektbehovet til en propellstrømsetter vesentlig lavere enn for en ejetorstrømsetter med tilsvarende kapasitet, noe som gjør propeller best egnet til å generere sirkulær vannstrøm i Aquatrazmerden.

Etter strømningsforsøket med Aquatraz 1, ble det gjennomført CFD analyser med 4 stk. propellstrømsettere montert på gangbro. Nye fullskala strømningsforsøk ble deretter gjennomført i Eiterfjorden i perioden 09.04-10.04.2019 med Aquatraz 2, for å validere CFD analysene. Både strømmålinger og visuelle observasjoner med fargestoff ble gjennomført.

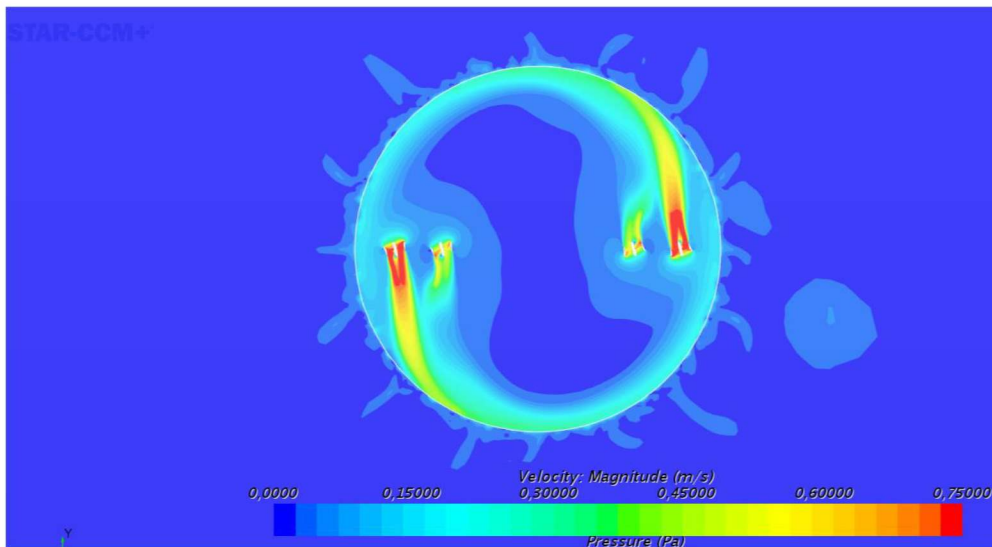
Visuelle observasjoner fra bruk av fargestoff under forsøkene, se figur 9.2. viser at det er veldig god vannutskiftning i merden, samt at vannet hentes dypt. I forsøket som vises i figur 9.2. ble det først sluppet ut fargestoff på 5 meters dyp og så på 8 meters dyp i 10 min. Figur 9.2. viser situasjonen etter 10 minutter med utslipp på 8 meter. Strømsetterne står på 5.5 meters dyp og alle går på 100% effekt. Figur 9.2. viser at hovedmengden av vann som kommer inn i merden hentes dypere enn 8 meter når strømsetterne går.



Figur 9.2. Strømningsforsøk i Eiterfjorden april 2019.

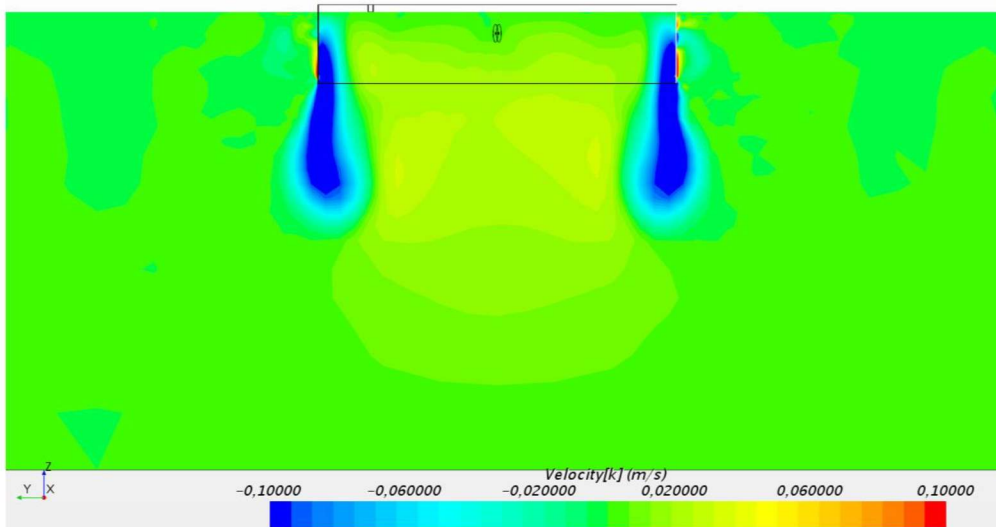
Strømmålingene utført i merden under fullskalaforsøkene viser at det er samsvar mellom disse og CFD analysene. En betydelig vannutskiftning ved bruk av propellstrømsettere er dokumentert, i størrelsesorden 30-40m³/s. Dette tilsvarer 6-8 vannutskiftninger i timen for volum innenfor tett skjørt del (øverste 8 m).

Vannhastighetene i merden vil variere. Tangensialhastigheten langs merdvegg (ytterste 15-30% av radius) er i størrelsesorden 0,1-0,3 m/s, mens horisontal vannstrømhastigheten bak strømsetterne er opp mot 1,0 m/s, avhengig av hvor hardt strømsetterne kjøres, se figur 9.3 som viser plot fra CFD analyse.



Figur 9.3 Horisontalhastighet i X-Y planet gjennom senter av strømsetter ($Z = -3$ m)

Figur 9.4 viser plot fra CFD analysen. Vertikal oppstrøm med vann i senter av merd, mens vannet strømmer ut ned langs merdveggen.



Figur 9.4 Vertikalt hastighetsplot i y-z plan 90° i forhold til gangbro

Dokumentasjon av studien vi har gjennomført med hensyn CFD analyser vs. fullskalamålinger vil bli presentert i en egen rapport. Hovedkonklusjonen er at CFD analyser kan benyttes til å simulere vannstrømning i Aquatrazmerden.

Med Aquatrazmerden er det mulig å regulere vannutsifting og vannstrøm ved bruk av regulerbare strømsettere. CFD analyser vil bli benyttet i prosjektet fremover for å optimalisere merd/strømsettere med hensyn til vannstrømning.

10. Produktkvalitet

Av: Thomas Larsson, Turid Mørkøre, Lene Sveen, Nofima.

10.1 Formål og bakgrunn

For å avdekke effekten av strømsetting i Aquatraz på produktkvalitet, ble laks fra en konvensjonell nabomerd (merdnummer 3) og fra Aquatraz (merdnummer 5) sendt til Nofima, Ås for kvalitetsvurdering. Startuttak ble gjort like etter overføring av fisk til Aquatraz (24. oktober 2018; benevnt Q4 2018) da prøvefisken veide 1,5 kg i snitt. Deretter ble det utført et uttak per Q1, Q2 og Q3 (slakt) i 2019.

10.2 Materiale og metode

For alle uttak ble 10 sløyd og individmerket fisk, med tilhørende innvollspakke, per merdtype Kontroll og Aquatraz, 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. Unntaket var slakteuttaket, der fisk og innvoller ble frosset inn og analysert etter tining ved +1 °C. For dette uttaket ble Kontrollmerden slaktet fire uker før Aquatrazmerden. 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, og norsk kvalitetssnitt (NKS) ble tatt til kjemiske analyser. Høyre filet ble lagret på is til dag 7 post mortem, da visuell farge (DSM SalmoFan, utført av samme person for all fisk) av dorsal del av NKS, 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. Filetfarge ble på de to siste uttakene også målt med bildeanalyse (PhotoFish; Folkestad et al., 2008). Fett- (Folch, 1957) og astaxanthininnhold (Bjerkeng, 1997) i NKS ble målt kjemisk på et utvalg av fiskene (5 per merd). Astaxanthininnhold ble også predikert ved bruk av bildeanalyse for de to siste uttakene (10 fisk per merd, PhotoFish).

10.3 Resultater

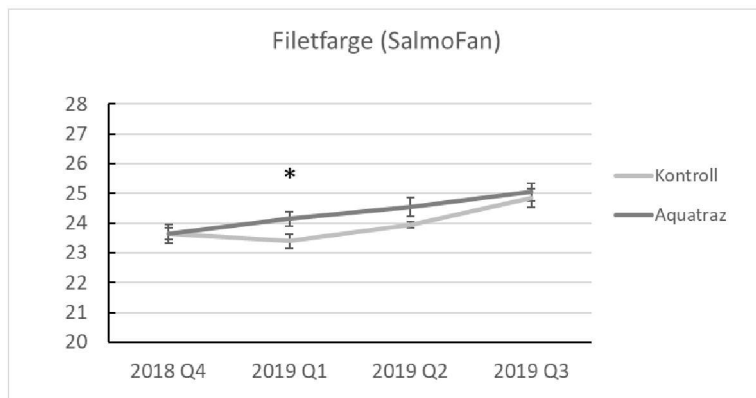
Resultater fra alle uttak er oppsummert i Tabell 10.1.

Det var ingen signifikante forskjeller mellom gruppene for kondisjonsfaktor, slakteutbytte eller filetutbytte. Disse parameterne vil uansett bli viktige å følge fremover siden vannstrømmen i Aquatrazmerden er forventet å øke når flere strømsettere settes i bruk, og fisken vil ha forutsetninger for å svømme raskere/ mere.

Generelt hadde begge fiskegrupper lignende og lave og/ eller normale score for katarakt, slitasje på ryggfinne, synlig fett på hjerte, fett på innvoller, leverfarge og forekomst og intensitet av mørke flekker i fileten. Fettinnhold i muskelen var lignende for de to gruppene for alle tidspunkter, uten signifikante forskjeller, selv om Kontroll-gruppen hadde 2 %-poeng høyere fettinnhold enn Aquatraz-gruppen ved slakt ($p = 0,16$). I neste generasjon vil alle fisk per uttak bli analysert for fettinnhold for å danne et bedre bilde.

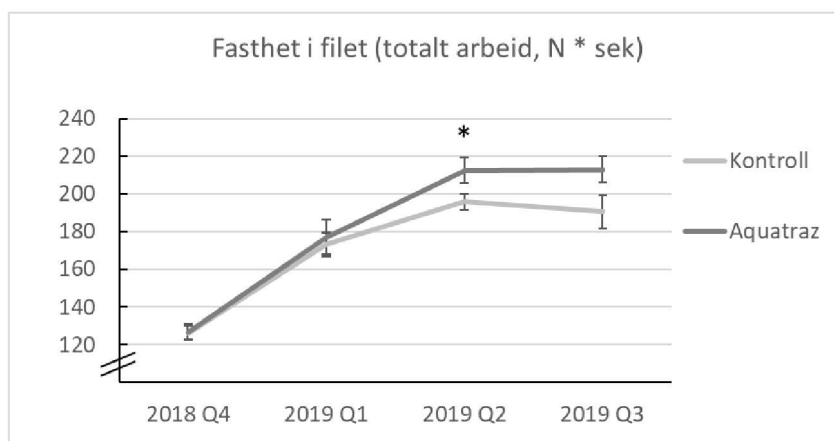
Aquatrazgruppen tenderte til å ha mindre lever og hjerte en Kontroll-gruppen gjennom hele produksjonen, men det var kun ved slakt at forskjellene på hjertestørrelse var signifikant ($p = 0,04$). De numeriske forskjellene var dog små (Tabell 10.1.), men blir likevel interessant å følge opp i neste generasjon.

Filetfargen vurdert manuelt var numerisk høyere for Aquatrazfisken gjennom produksjonen (0,4 SalmoFan-poeng i gjennomsnitt), og forskjellen var signifikant i Q1 2019 ($p = 0,04$), med lignende trend i Q2 ($p = 0,09$; Figur 10.1). Filetfargen målt ved bildeanalyse (kun målt ved de to siste uttakene) viste samme trend, og her var forskjellen signifikant i Q2 ($p = 0,02$; Tabell 10.1). Astaxanthinnivået i muskelen viste lignende trend for de uttak der det ble målt, men forskjellen var kun signifikant i Q2 (bildeanalyse; $p = 0,03$; Tabell 10.1).



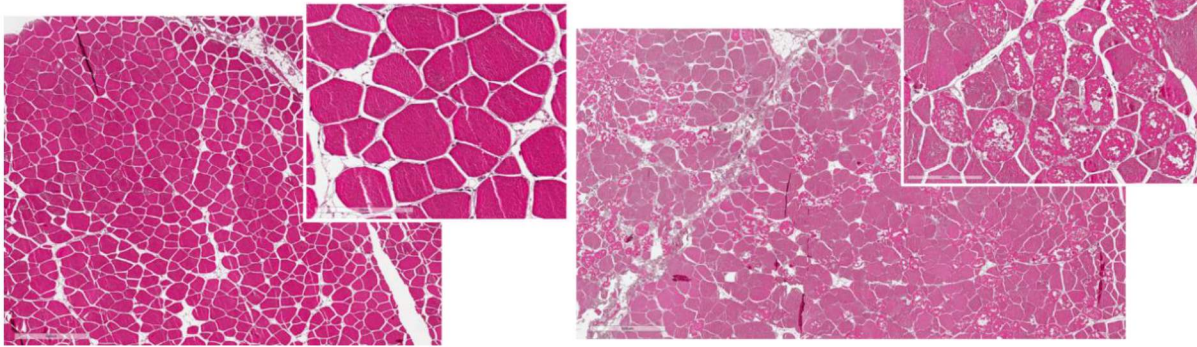
Figur 10.1. Filetfarge ved bruk av DSM SalmoFan for laks fra Aquatraz- og Kontroll-merd. Signifikante forskjeller mellom de to gruppene er indikert med stjerne.

Fastheten i fileten, uttrykket som gjennomsnitt av de to målingene per filet for det totale arbeidet som skulle til for å nå 90% av filettykkelsen, var signifikant høyere hos Aquatraz-fisken i Q2 2019 ($p=0,05$; Figur 10.2.). For den fremre av de to målingene per filet var både bruddstyrken til fileten og det totale arbeidet signifikant høyere for denne fisken også ved slakt, sammenlignet med Kontroll ($p<0,04$).



Figur 10.2. Fasthet i filet, uttrykket som gjennomsnitt av de to målingene per filet for det totale arbeidet som skulle til for å nå 90% av filettykkelsen.

Histologi med HE-farging av hvit muskel viste funn som tydet på degenererte muskelfibre uten inflammasjon og med noe ødem langs myocommata (HE-farging, Figur 10.3.). Endringene så ikke ut til å resultere i bindevevsdannelse (Van Gieson-farging, ikke vist). I Q1 var forskjellen mellom gruppene tydelig, med mere funn i Kontroll-gruppen. Denne forskjellen var mindre tydelig i Q2. Siden fisken ved slakt ble frosset før analyse ble prøver til histologi ikke tatt.



Figur 10.3. Histologi av hvit muskel. Til venstre: normal muskel; til høyre: muskel med degenererte muskelfibre.

Generelt vil de undersøkte parameterne bli interessant å følge fremover siden vannstrømmen i Aquatrazmerden er forventet å øke når flere strømsettere settes i bruk. Det er også planlagt tettere uttak i neste generasjon; dette vil bidra positivt i vurderingen av eventuelle forskjeller. Funns fra histologi vurderes å følges opp med blodanalyser for å se på lekkasje av enzymer fra muskel (og lever, Pharmaq) som videre indikasjon på eventuelle degenerative endringer.

Tabell 10.1. Oppsummering av resultater fra kvalitetsvurdering av 10 laks per merdtype for de fire uttakene. Forskjeller per kvartal (Q) er indikert med fet (signifikant, $p < 0,05$) og kursiv (tendens, $p < 0,1$) stil.

	Q4 2018		Q1 2019		Q2 2019		Q3 2019 slakt	
	Kontroll	Aquatraz	Kontroll	Aquatraz	Kontroll	Aquatraz	Kontroll	Aquatraz
Rundvekt (g)	1486 (1153-1776)	1540 (1096-1889)	2763 (1878-3677)	2873 (2008-3679)	4067 (3349-4663)	4067 (3456-4943)	4765 (4114-5240)	5225 (4805-5581)
Sløydvekt (g)	1301 (1001-1552)	1355 (989-1687)	2379 (1624-3169)	2503 (1719-3272)	3485 (2899-3984)	3521 (3058-4327)	4273 (3713-4717)	4687 (4371-5085)
Lengde (cm)	47.7 (44-50.5)	48.5 (44.5-52)	59.3 (53.5-64)	58.8 (52-66.5)	66.6 (62.5-68.5)	66.5 (63-70)	72 (69-75)	74.6 (72-79)
Kondisjonsfaktor (rundvekt)	1.36 (1.24-1.46)	1.34 (1.2-1.46)	<i>1.31 (1.2-1.4)</i>	<i>1.4 (1.22-1.56)</i>	1.37 (1.22-1.46)	1.38 (1.26-1.45)	1.28 (1.2-1.39)	1.27 (1.09-1.34)
Slakteutbytte (%)	87.5 (86-88.8)	88.0 (86.4-90.2)	86.2 (83-89.8)	87.1 (85.6-89)	85.8 (83.1-88.4)	86.6 (84.2-90.8)	89.7 (89-90.4)	90.1 (88.3-91.3)
Katarakt (0-4 poeng)	0	0	0	0	0.2 (0-1)	0 (0-0)	NA	NA
Ryggfinne (0-4 poeng)	1.4 (1-3)	1.5 (1-2)	0.8 (0-2)	1.3 (0-3)	0.9 (0-2)	1.3 (0.5-2)	1.4 (1-2)	1.1 (0-2)
Synlig fett på hjerte (0-2 poeng)	0.1 (0-1)	0 (0-0)	0.6 (0-2)	0.3 (0-2)	0.6 (0-2)	0.2 (0-1)	0.8 (0-1)	0.7 (0-2)
Synlig fett på innvoller (0-5 poeng)	2.7 (2-3)	2.7 (2-3)	2.4 (2-3)	2.1 (1-3)	2.5 (1.5-4)	2.2 (1-3)	3.2 (2-4)	3.6 (3-4)
Leverfarge (0-5 poeng)	2.5 ± 0.2	2.8 ± 0.1	2.2 ± 0.2	2.4 ± 0.1	3 (2-4)	2.9 (2-3.5)	3 (2-4)	3.2 (1.5-4)
Levervekt (% av rundvekt, HSI)	1.08 (0.9-1.27)	1.12 (1.04-1.22)	<i>1.3 (1.09-1.63)</i>	<i>1.17 (0.99-1.41)</i>	1.27 (0.98-1.57)	1.17 (0.87-1.53)	0.91 (0.84-0.97)	0.89 (0.78-1.12)
Hjertevekt (% av rundvekt, CSI)	0.12 (0.11-0.13)	0.12 (0.1-0.14)	0.13 (0.11-0.15)	0.12 (0.1-0.14)	0.12 (0.1-0.15)	0.12 (0.09-0.15)	0.12 (0.1-0.14)	0.11 (0.1-0.13)
Filetutbytte (% av rundvekt)	65 (61.1-67.7)	66.1 (62.4-69.3)	65 (60.4-70.5)	65.3 (61.2-68.8)	67.7 (65.4-70.6)	68 (64.2-70.4)	68.4 (66.9-70.3)	67.1 (61.4-69.5)
Filetutbytte (% av sløydvekt)	74.3 (70.2-77.2)	75.1 (70.8-79.3)	75.4 (70.2-80.2)	75 (70.5-78.3)	78.9 (75.5-81.4)	78.5 (76.2-79.8)	76.4 (75-78.1)	75.0 (69.6-78.4)
Gaping (poeng)	0.3 (0-2.5)	0.3 (0-2)	0.2 (0-2)	0.2 (0-1)	0.2 (0-1)	0 (0-0)	0.6 (0-2)	0.6 (0-2.5)
Mørke flekker i filet (poeng)	0.5 (0-2)	0.6 (0-3)	0.6 (0-2)	0.3 (0-2)	0.7 (0-2.5)	0.5 (0-1)	0.3 (0-1)	1 (0-4.5)
Filetfarge (SalmoFan visuell score)	23.7 (23-25)	23.7 (21.5-25)	23.4 (22.5-25)	24.2 (23-25.5)	24 (23.5-24.5)	24.6 (23.5-26.5)	24.9 (24-27)	25.1 (24-26)
Filetfarge (SalmoFan Photofish)					24.4 (23.8-25.3)	25.1 (23.8-26.3)	25.7 (24.6-27.4)	26.2 (24.4-27.7)
Fasthet i filet (Newton)	6.7 (6.0-7.1)	6.7 (5.8-7.4)	9 (8-10)	8.8 (6.9-10.7)	9.8 (8.6-11.3)	10.2 (8.2-11.5)	8.1 (6.5-10.4)	8.7 (6.6-11.4)
Fasthet i filet (totalt arbeid, N*s)	126.3 (101.3-138.8)	127.0 (108.6-145.6)	173.3 (130.5-205.6)	177.1 (136.5-213.4)	195.7 (175.2-219.4)	212.4 (179.9-254)	190.6 (148.6-226.1)	212.9 (182.3-255.2)
Fett i NKS (% , 5 fisk, kjemisk)	13.4 (10.3-15.5)	15.1 (13-16.4)	18.9 (18.4-19.7)	20.8 (18-24.2)	22.6 (20.9-26.2)	23.1 (20.5-25.2)	23.5 (21.4-25.5)	21.6 (18.6-24.3)
Astaxanthin (kjemisk, mg/kg, 5 fisk)	-	-	4.7 (3.7-5.4)	4.8 (4.3-5.3)	4.3 (3.6-5)	5.1 (3.6-6.7)	-	-
Astaxanthin (Photofish, mg/kg)	-	-	-	-	5.0 (4.5-5.6)	5.5 (4.4-6.4)	5.9 (5.1-7.2)	6.3 (4.9-7.5)

11 Referanser

Alfredsen, J.A. (2018). Aquaculture in the perspective of Industry 4.0. International Workshop on Far Offshore Mariculture 5-9 Dec. 2018, Ocean University of China, Qingdao, China.

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, A., 2009. Health related losses in sea farmed Atlantic salmon - quantification, risk factors and economic impact. PhD thesis, Norwegian School of Veterinary Science.

Bjerkeng, B., Følling, M., Lagocki, S., Storebakken, T., Olli, J. J., Alsted, N., 1997. Bioavailability of all-E-astaxanthin and Z-astaxanthin isomers in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 157, 63-82.

Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem, 226:497-509

Folkestad A, Wold JP, Rørvik K-A, Tschudi J, Haugholt KH, Kolstad K and Mørkøre T (2008) Rapid and non-invasive measurements of fat and pigment concentrations in live and slaughtered Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture, 280, 129-135

Hassan W., Føre M., Ulvund J.B., Alfredsen J.A. (2019a). Internet of Fish: Integration of acoustic telemetry with LPWAN for efficient real-time monitoring of fish in marine farms. *Computer and Electronics in Agriculture*, Volume 163, 104805.

Hassan W., Urke, H. A., Kristensen, T., Føre M., Ulvund J.B., Alfredsen J.A. (2019b). 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.

Kjelsvik, P. A. 2019. Internet of Fish Real-time monitoring of fish through LPWAN and Internet technologies. Masteroppgave NTNU (<http://hdl.handle.net/11250/2625681>).

Mørkøre T, Einen, O, 2003. Relating sensory and instrumental texture analyses of Atlantic salmon. Journal of Food Science 68, 1492-1497.

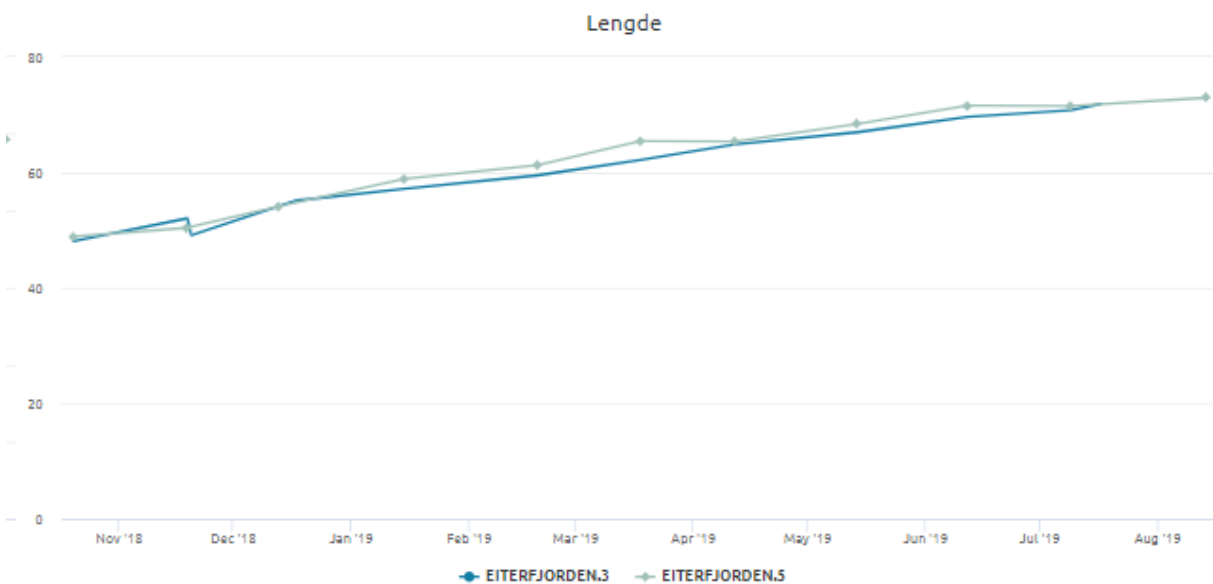
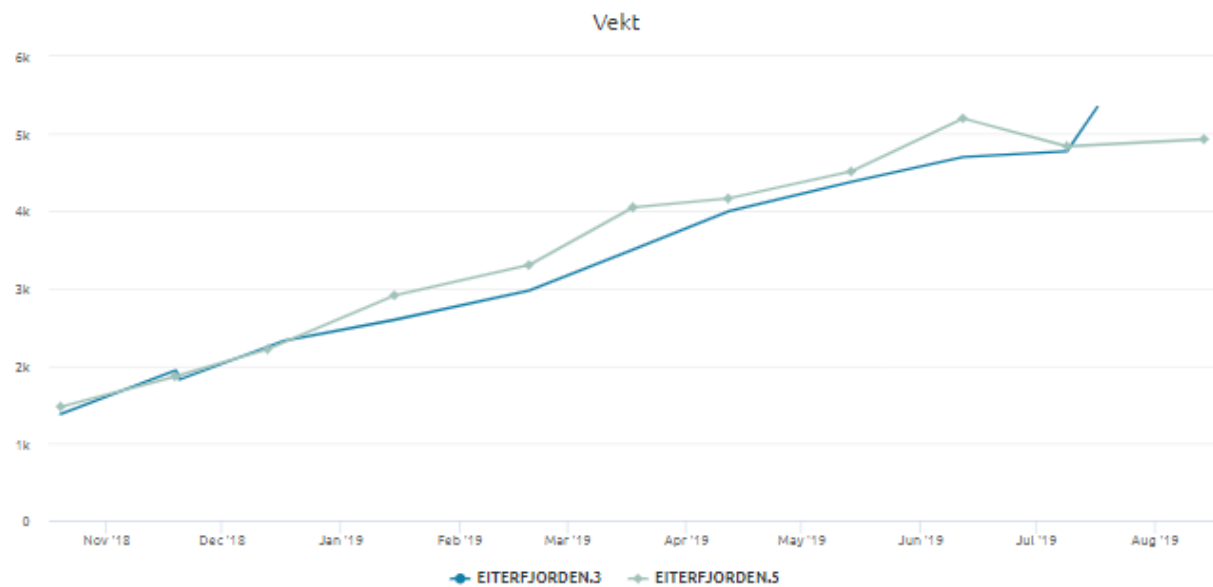
Mørkøre T (2012) Filet av oppdrettslaks: Kvalitetsavvik og årsakssammenhenger. FHF-prosjekt 900339. Report 17/2012, Nofima, Ås.

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.

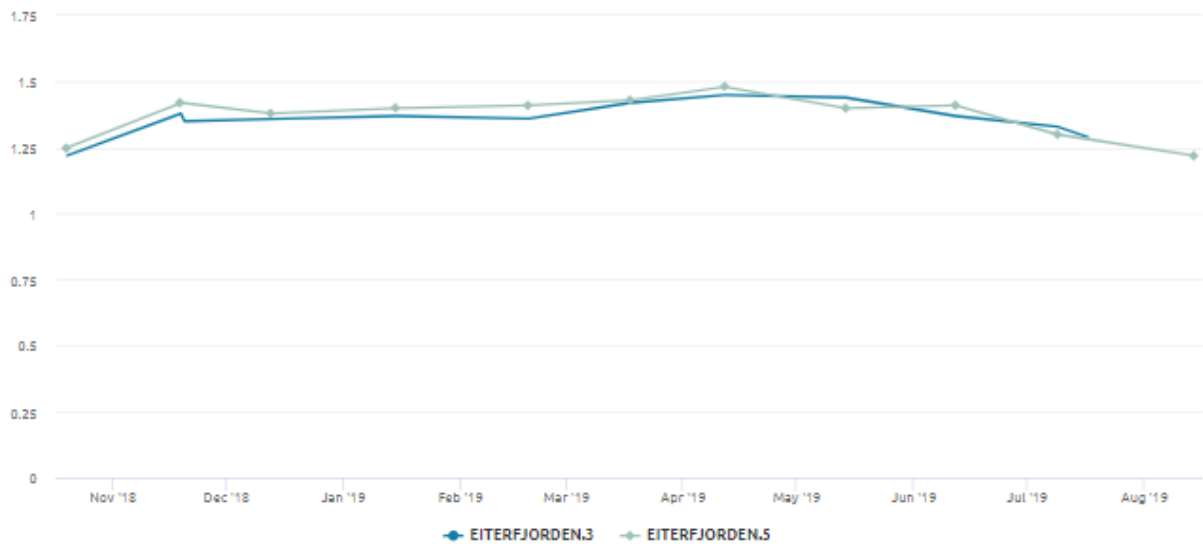
12 Vedlegg

12.1 Operative velferdsindikatorer på individnivå

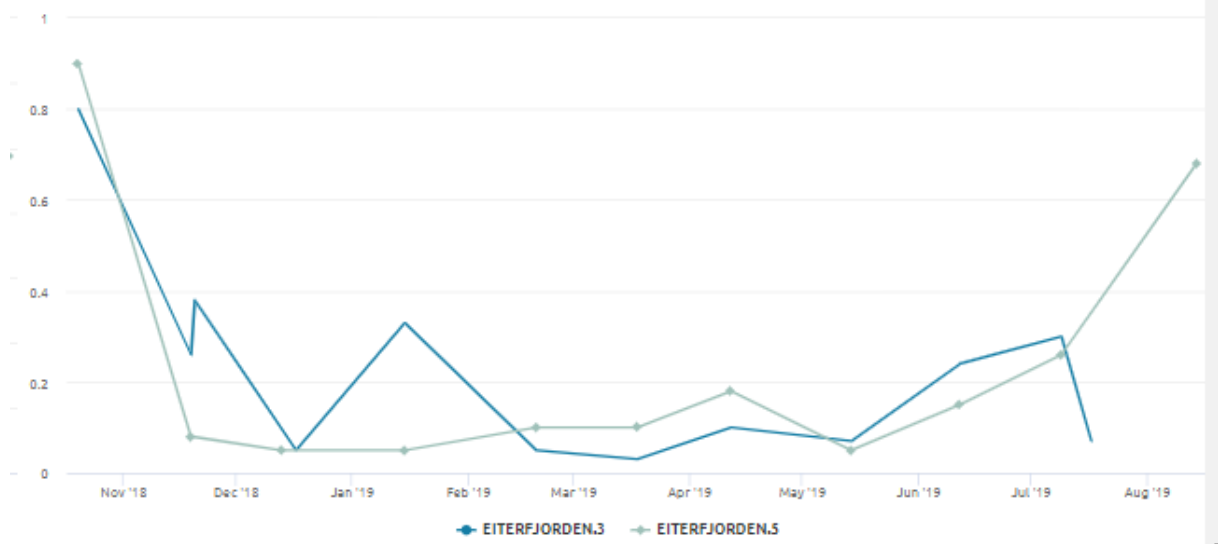
Nedenfor er oppsummerende grafiske framstillinger av resultatene, der Aquatrazmerden er Eiterfjorden 5 og kontrollmerden er Eiterfjorden 3. Det er ulik skala på y-aksen.



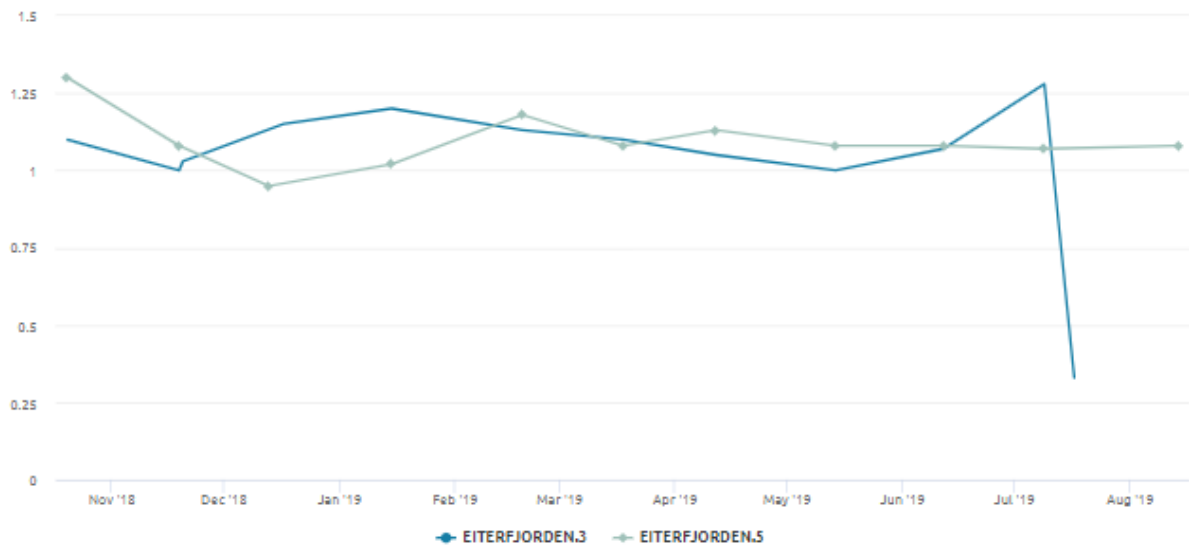
Kondisjonsfaktor



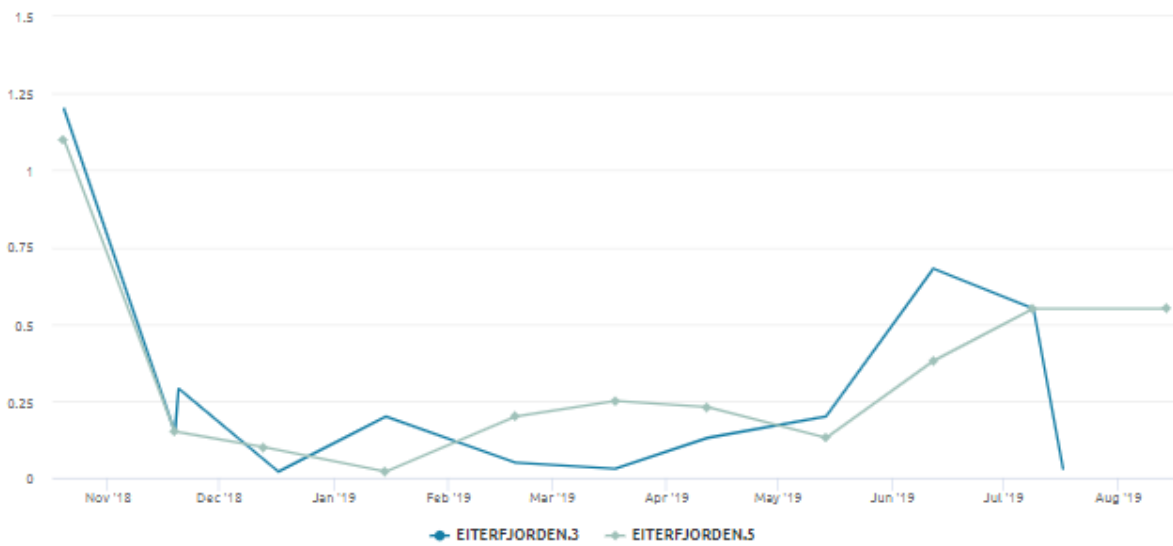
Aktiv ryggfinneskade



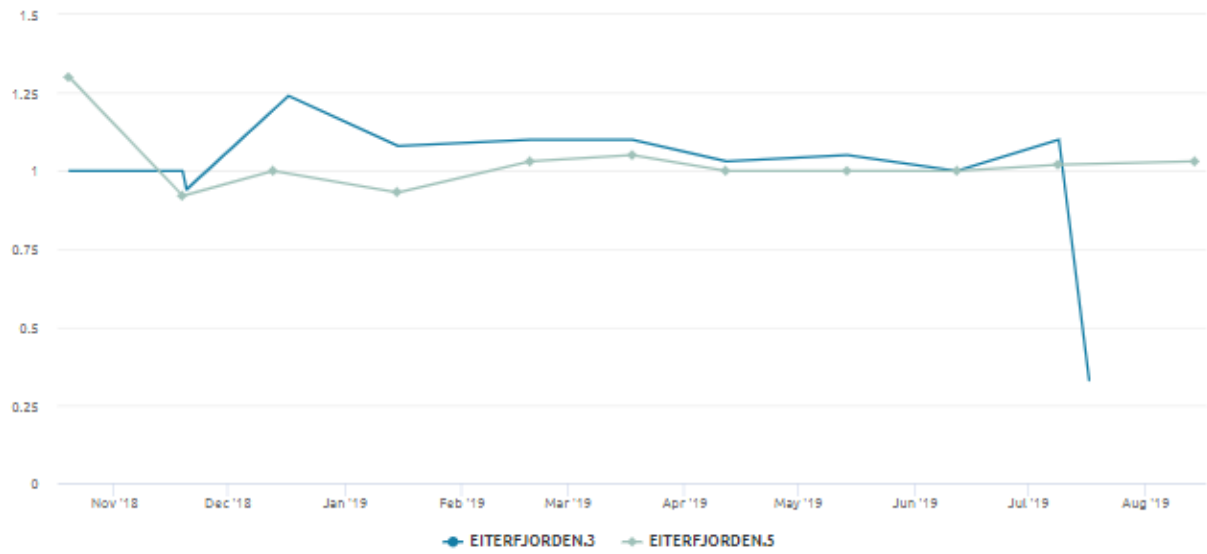
Helbredet ryggfinneskade



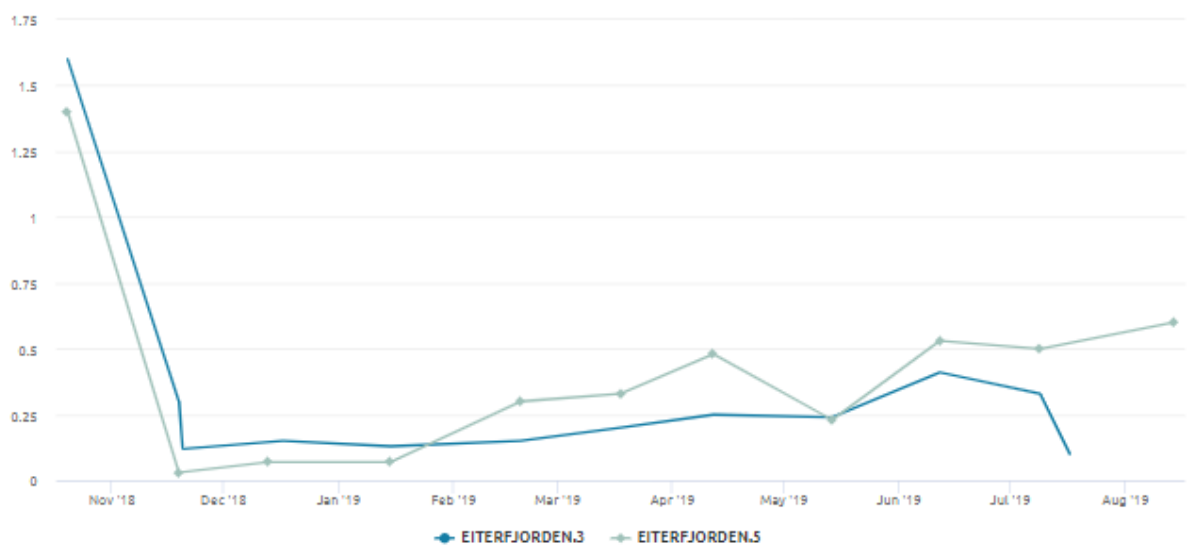
Aktiv brystfinneskade



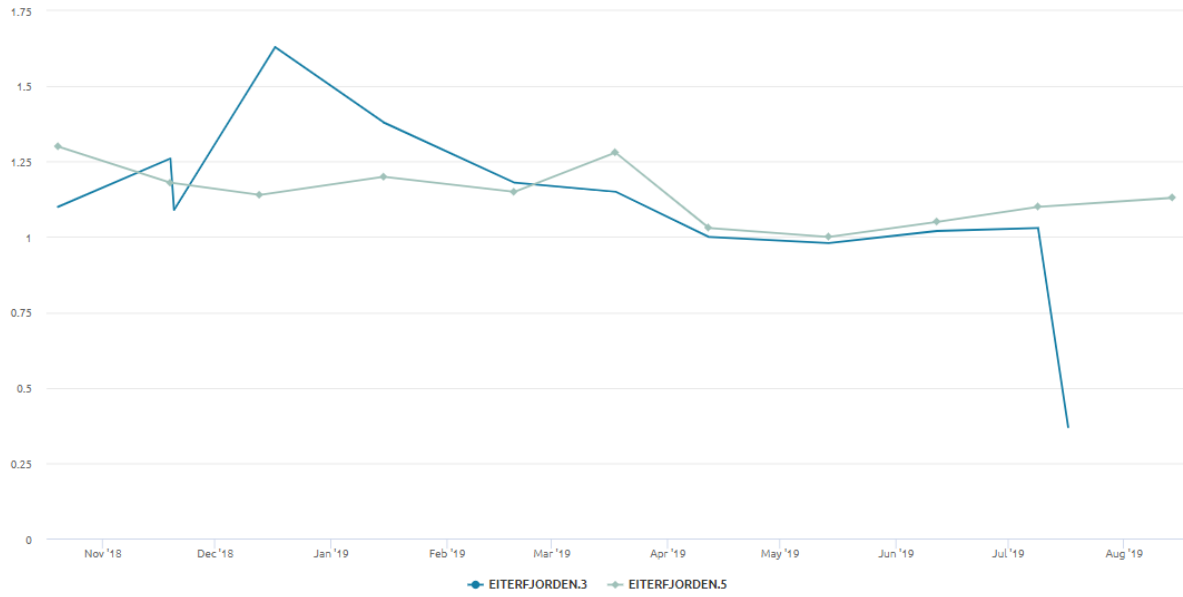
Helbredet brystfinneskade



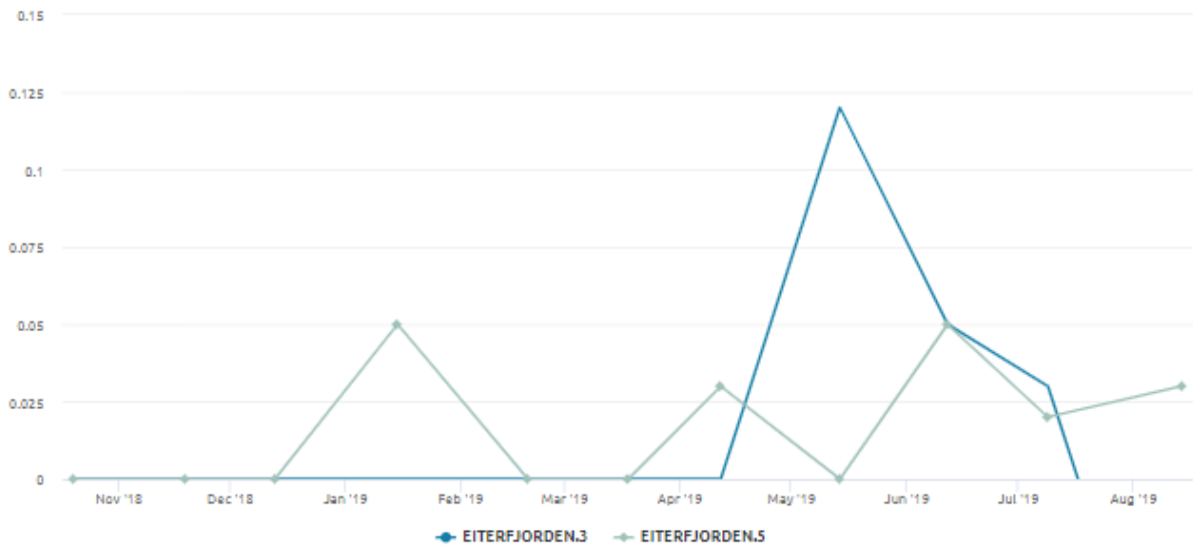
Aktiv halefinneskade



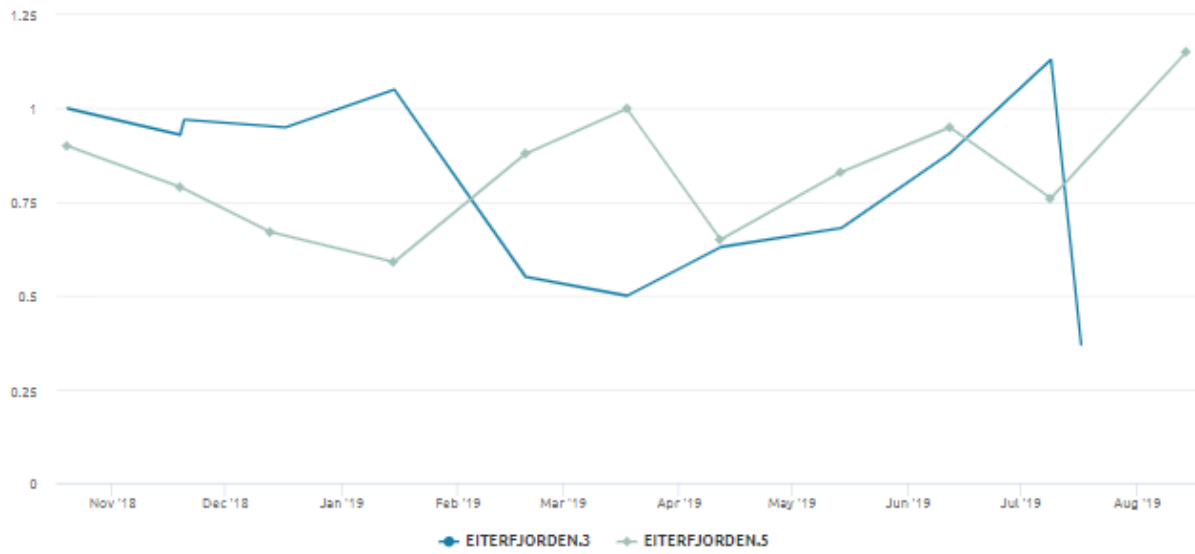
Helbredet halefinneskade



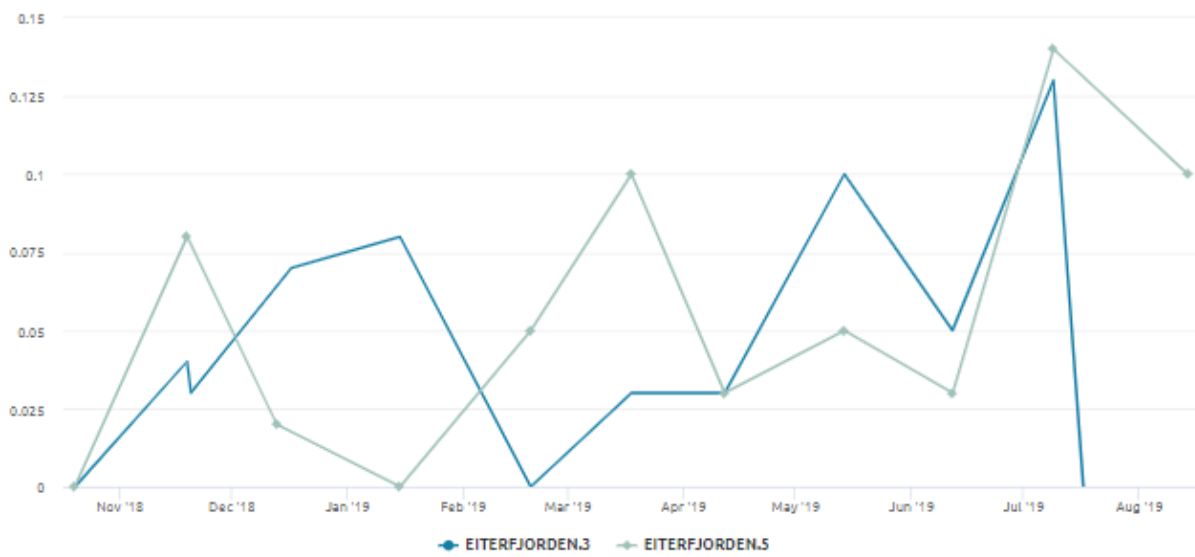
Ryggdeformiteter



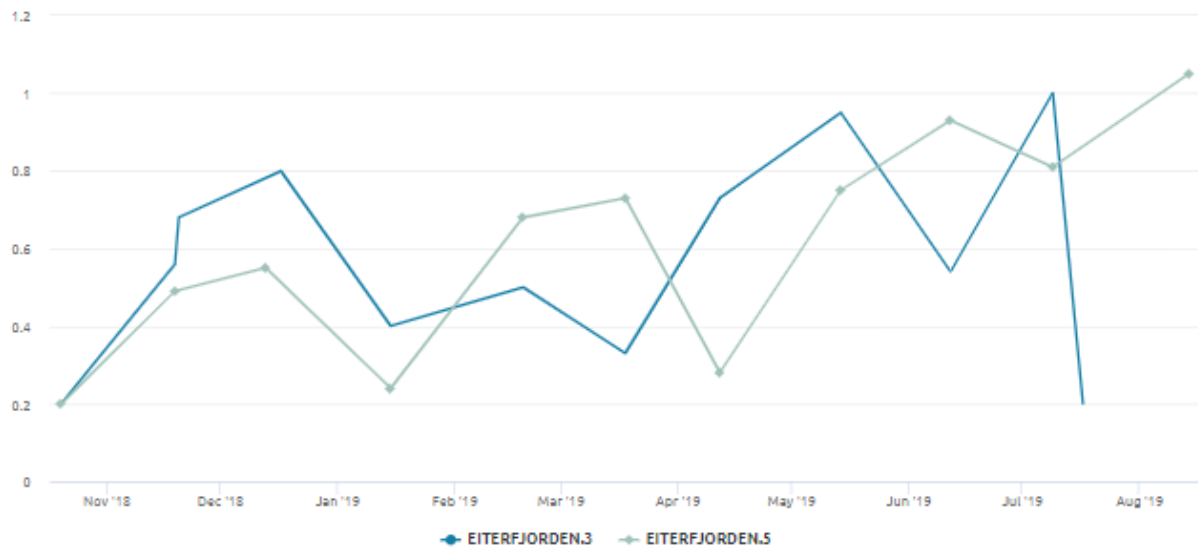
Skjelltap



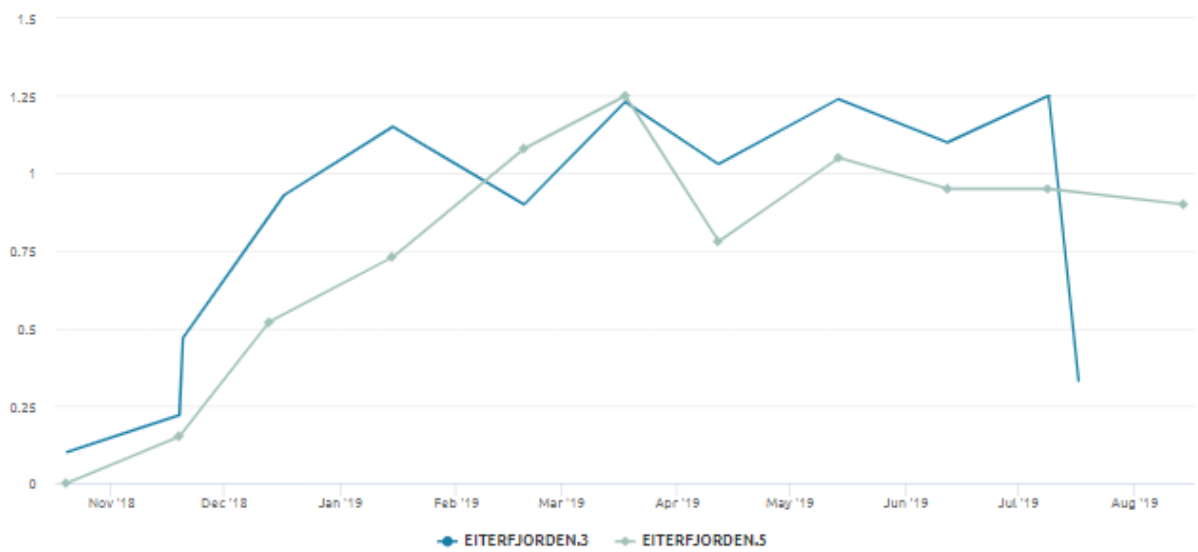
Sår



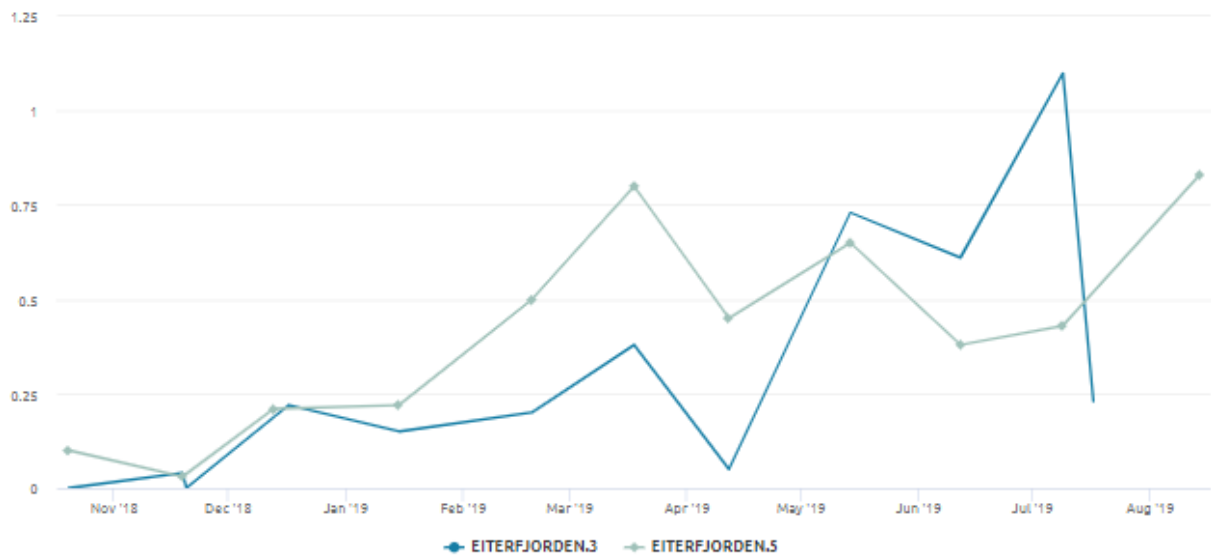
Hudblødning



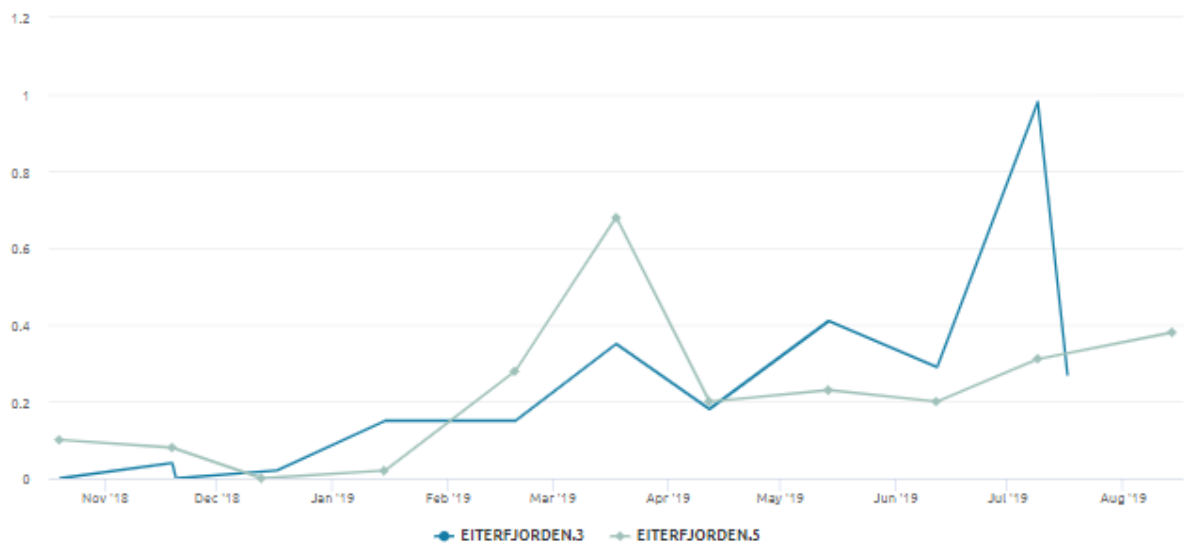
Snuteskade



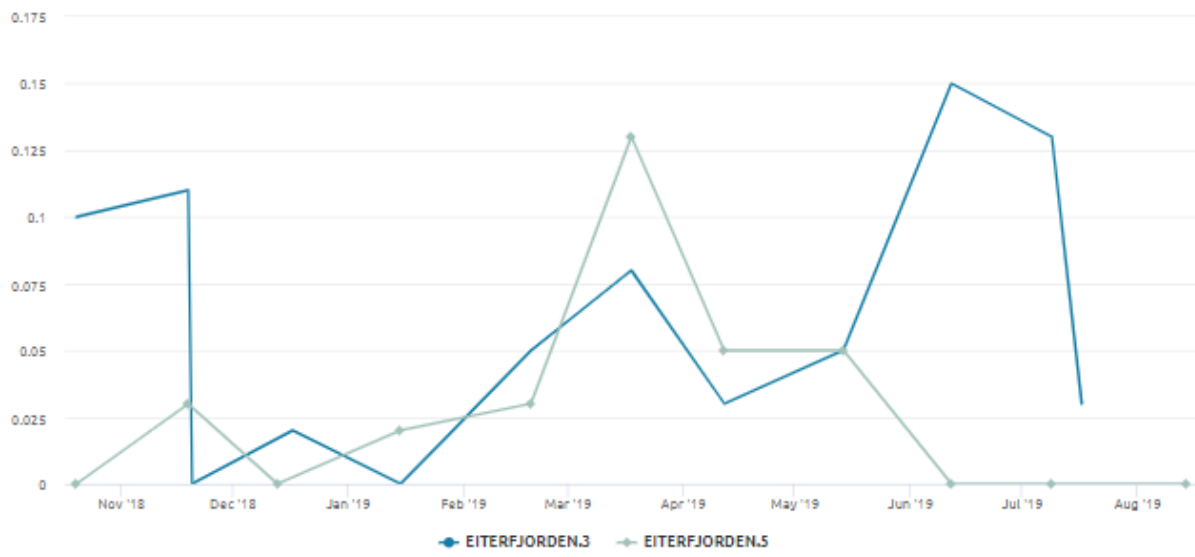
Øyeskade



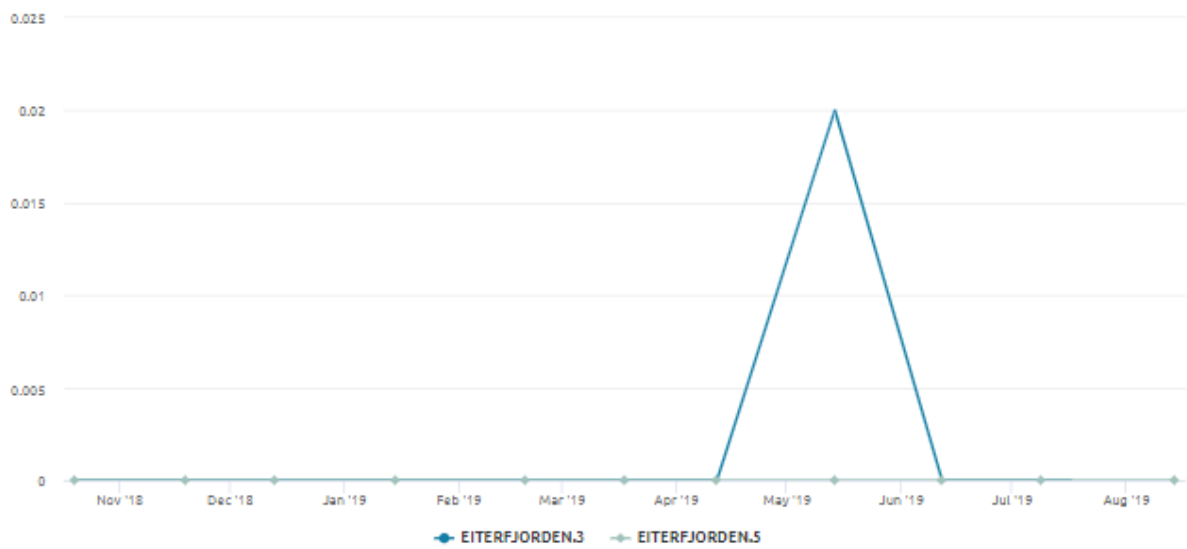
Utstående øye



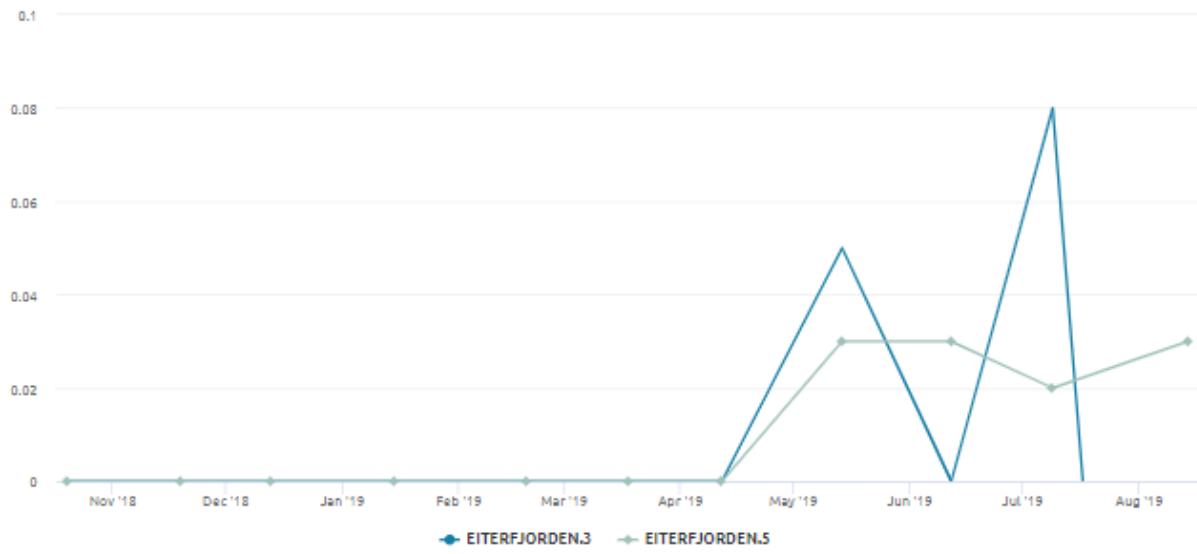
Gjellelokkskade



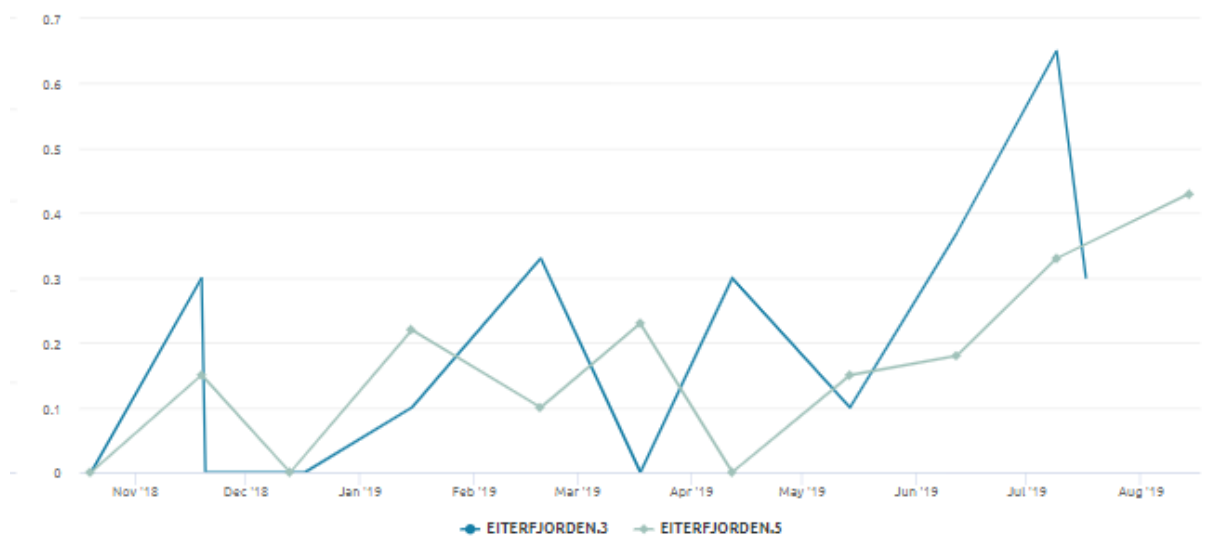
Overkjeve deformitet



Underkjeve deformitet

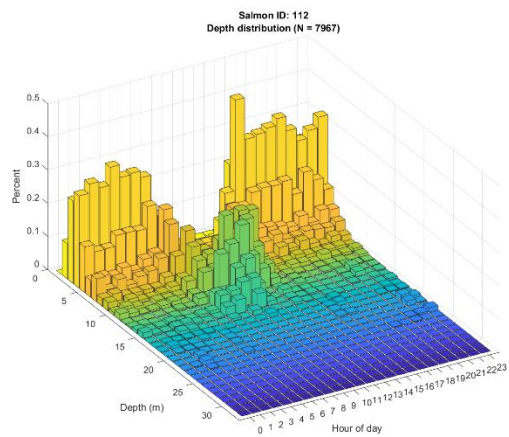
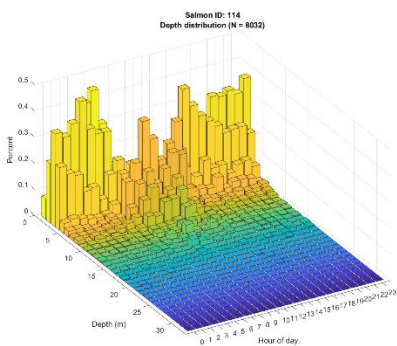
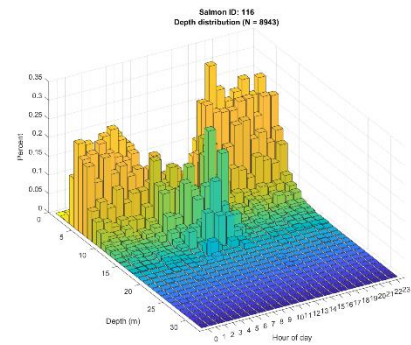
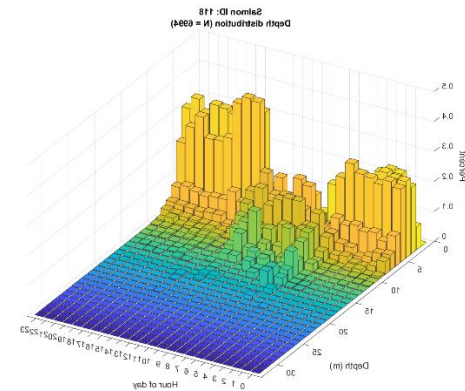
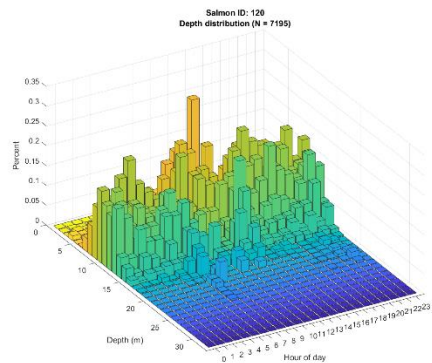
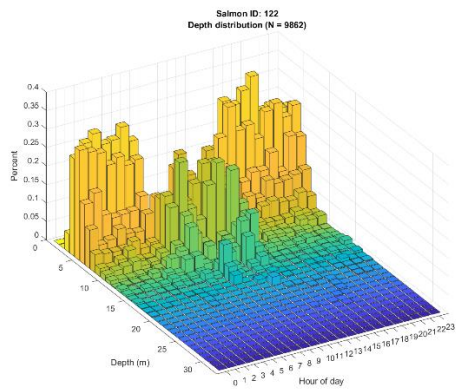


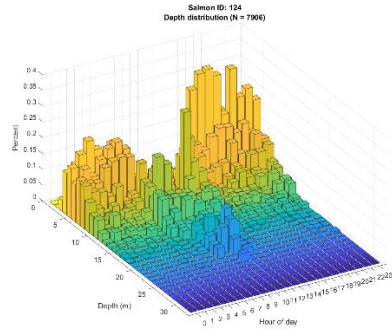
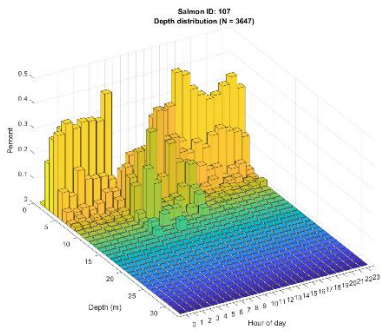
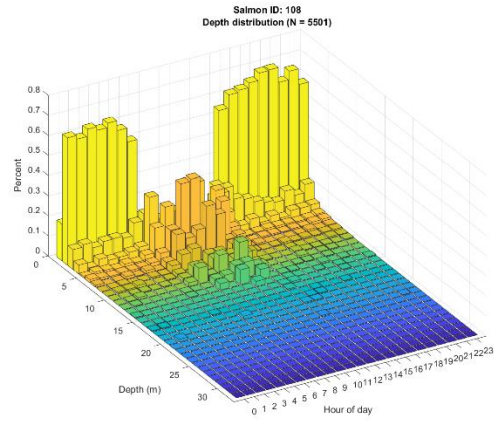
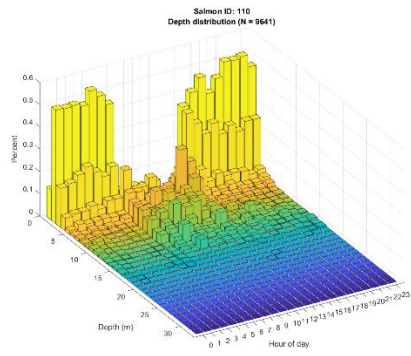
Katarakt



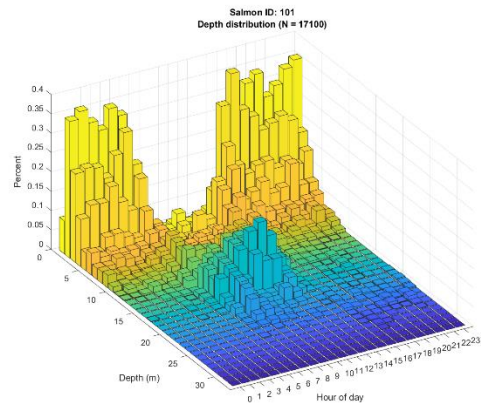
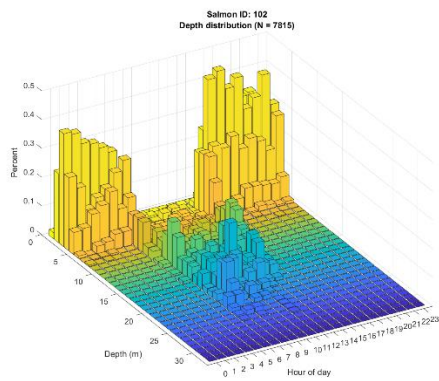
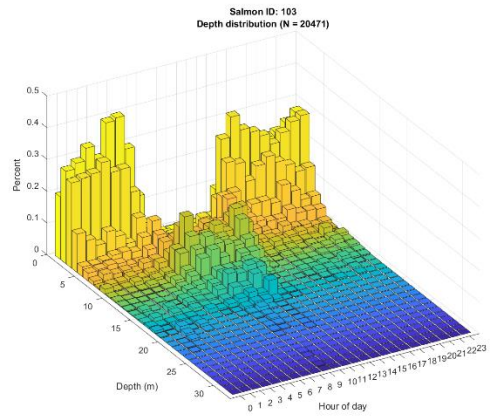
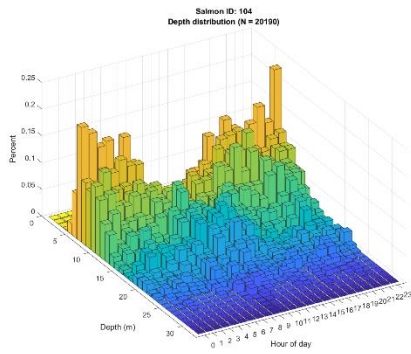
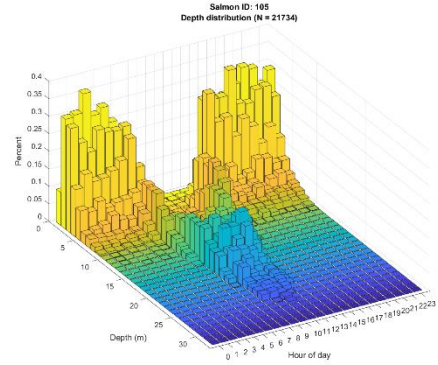
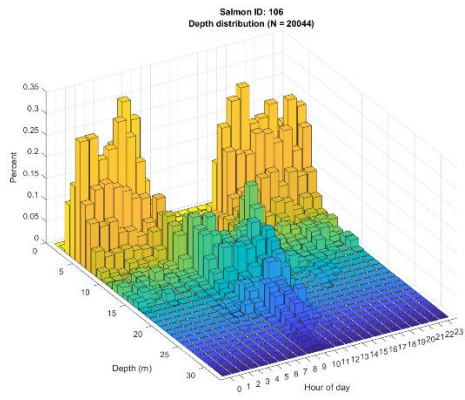
12.2 Dybdeplott gjennom hver time av døgnet for laks i Aquatraz og kontrollmerd over en periode på 24 dager i nov./des. 2018.

Kontrollmerd ID 107-124

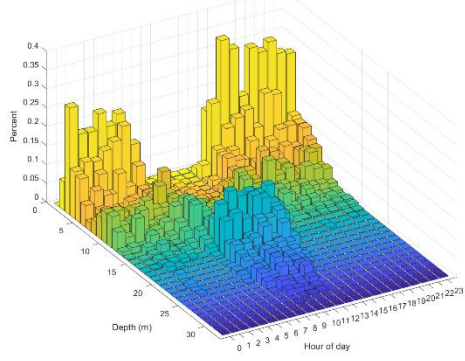




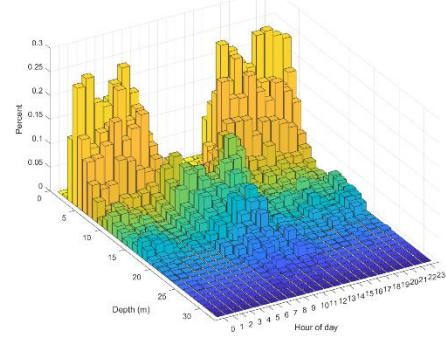
Aquatraz ID 97-106



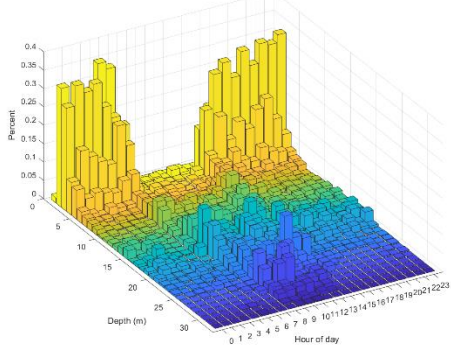
Salmon ID: 100
Depth distribution (N = 9606)



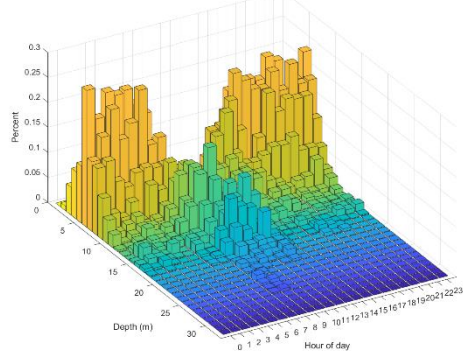
Salmon ID: 99
Depth distribution (N = 17411)



Salmon ID: 98
Depth distribution (N = 10472)

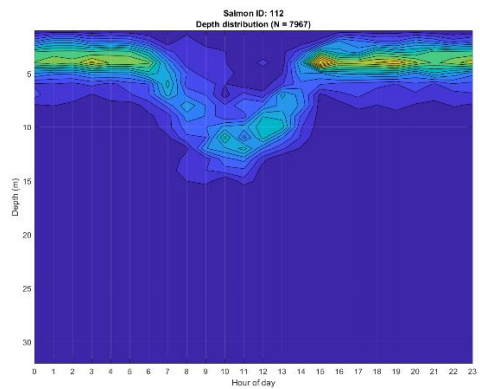
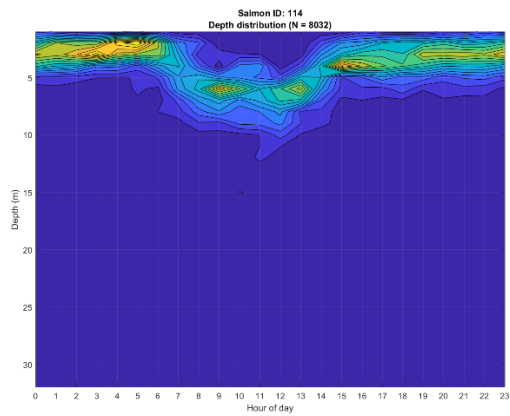
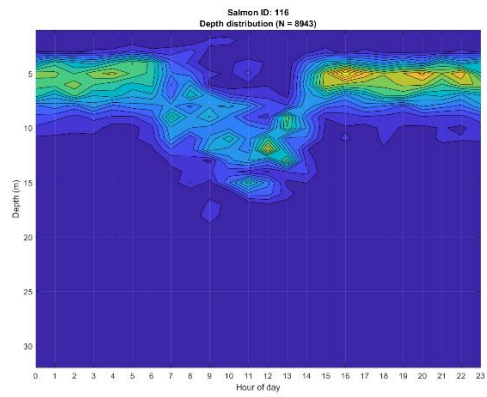
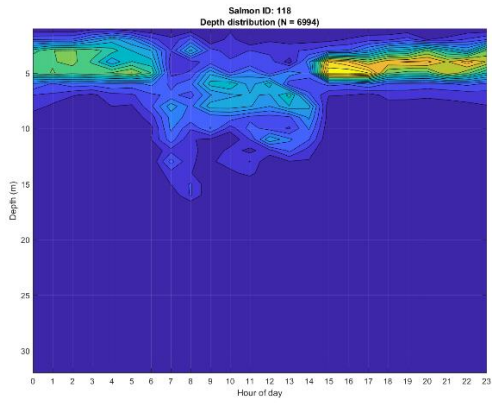
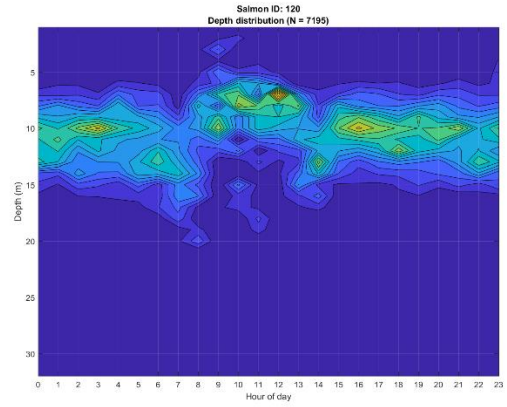
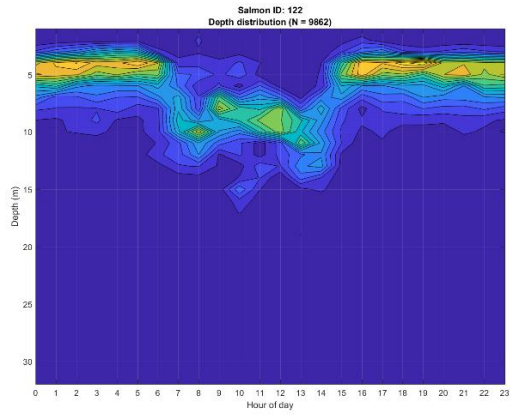


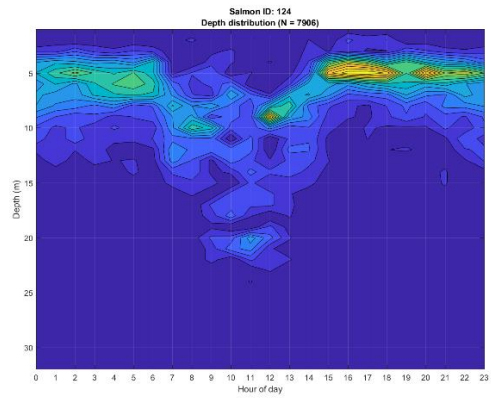
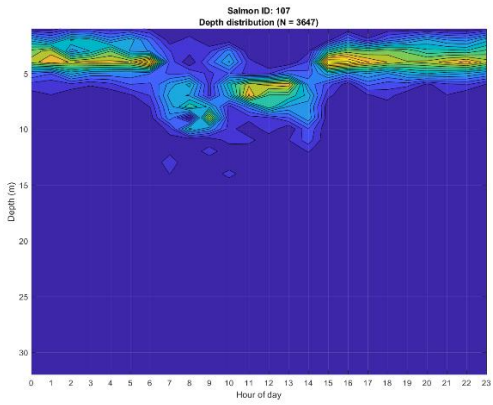
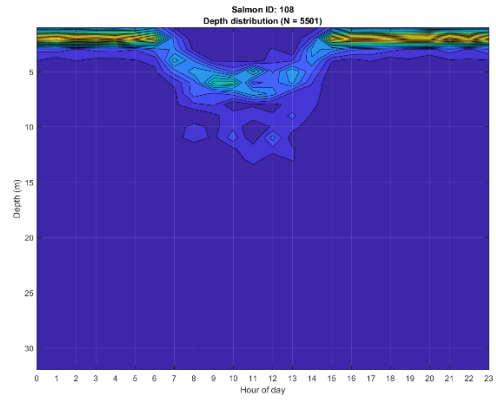
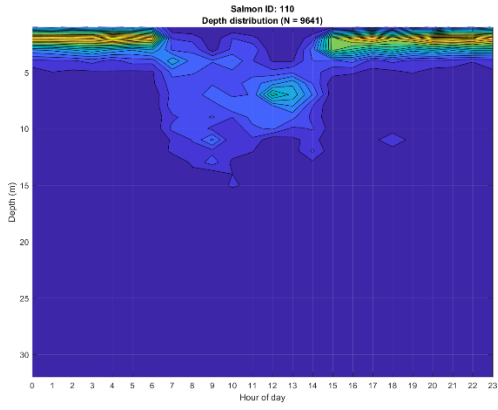
Salmon ID: 97
Depth distribution (N = 12199)



Dybdeplott kontur

Kontrollmerd ID 107-124





Aquatraz ID 97-106

