

Aquatraz:

Rapport for tetthetsprogram på Kyrøyene

Dokument nr.: AQT-MNH-BIO-007



Rev	Dato	Bakgrunn for utgivelse	Laget av	Sjekket av	Godkjent av
0	22.12.2020	Delrapport tetthetsprogram i henhold til plan.	TS	SH	FØ

Aquatraz: Rapport for tetthetsprogram på Kyrøyene

Forfattere:

Torolf Storsul (Aqua Kompetanse), Sara Calabrese (NIVA), Trine Dale (NIVA), Marte Fjær (Midt-Norsk Havbruk) og Steingrim Holm (Midt-Norsk Havbruk).

Sendt inn til Fiskeridirektoratet og Mattilsynet 22.12.2020

Samarbeidspartnere i prosjektet:



Innhold

1. Oppsummering.....	4
2. Forkortelser og definisjoner	6
3. Innledning.....	7
3.1. Bakgrunn og målsetning.....	7
3.2. Produksjon og tetthetsutvikling	8
3.3. Oppbygging av rapporten.....	10
4. Fiskevelferd	11
4.1. Formål og bakgrunn	11
4.2. Dødelighet og dødelighetsårsaker	11
4.3. Utfôring, beregnet tilveksthastighet og beregnet fôrfaktor	15
4.4. Lakselus	22
4.5. Helsekontroller	27
4.6. Velferdsscore/ individkontroller	27
4.7. Slaktedata.....	31
4.8. Konklusjon	37
5. Vannkvalitet.....	38
5.1. Formål og bakgrunn	38
5.2. Metode	38
5.3. Resultater	40
5.4. Konklusjoner vannkvalitet.....	49
6. Driftssikkerhet	50
6.1. Formål og bakgrunn	50
6.2. Erfaringer.....	50
7. Referanser	53
8. Vedlegg.....	54
8.1. Velferdsscore/ individkontroller	54
8.1.1. Velferdsscore/ individkontroller fiskegruppe A	54
8.1.2. Velferdsscore/ individkontroller fiskegruppe B	55
8.1.3. Velferdsscore/ individkontroller fiskegruppe C	56
8.1.4. Velferdsscore/ individkontroller fiskegruppe E.....	57

1. Oppsummering

Midt-Norsk Havbruk har fått tildelt utviklingstillatelser for å utvikle den semilukkede stålmerden Aquatraz. Denne rapporten oppsummerer uttesting med høyere tetthet, opptil 30 kg/m³, i tre Aquatrazmerder på lokaliteten 30076 Kyrøyene. Forsøket ble utført med fisk som ble satt i sjøen våren 2019, overført til Aquatrazmerder høsten 2019 og slaktet våren og sommeren 2020. Velferdsmessige aspekter ved uttestingen er dokumentert og registrert i henhold til planen som ble sendt inn sammen med søknadene til Fiskeridirektoratet om økt antall fisk per enhet og til Mattilsynet om økt fisketetthet. Fiskevelferd og vannkvalitet er hovedtemaene som ble dokumentert og registrert gjennom forsøkene.

Forsøkene viser at vi kan produsere laks med en tetthet på 30 kg/m³ i Aquatrazmerder med akseptable resultat med hensyn til fiskevelferd, dødelighet, vannkvalitet og tilvekst. Med bedre beskyttelse mot lus (dypere luseskjørt), kombinert med god vannutskifting, bør det være mulig å produsere laks med ytterligere økt tetthet og med bedre resultat enn det vi oppnådde i dette forsøket. Dette underbygges av følgende observasjoner fra forsøkene:

Fiskevelferd

- Akkumulert dødelighet er lavere i de gruppene som har stått i Aquatrazmerd, dels med en tetthet over 25 kg/m³, sammenlignet med de konvensjonelle gruppene på lokaliteten. Registrerte dødelighetsårsaker gir ingen holdepunkter for at den økte tettheten gir forhøyet risiko for spesielle dødelighetsårsaker. Færre lusebehandlinger på fisken som har stått i Aquatrazmerdene enn fisken som har stått hele produksjonsperioden i konvensjonelle merder kan være medvirkende til lavere totaldødelighet.
- Tilveksthastighet (moderat til god) og fôrfaktor (dårlig til moderat) har vist varierende resultater i de ulike fiskegruppene på lokaliteten. Det er ikke noe entydig mønster som peker i retning av at tetthet over 25 kg/m³ har vært negativt for fôrfaktor eller tilveksthastighet.
- Smittepresset av lus på lokaliteten har vært relativt høyt fra sensommeren 2019. Det har vært behov for færre avlusinger i Aquatrazmerdene enn i de konvensjonelle merdene. Dette tyder på at Aquatrazmerdene gir en viss beskyttelse mot lus, men at 8 meter stålskjørt kombinert med aktiv vannutskifting ikke er tilstrekkelig til å unngå avlusing.
- På helsekontrollene var tilstanden i begynnelsen av utsettet beskrevet som god. Senere i utsettet ble det påvist PD (pancreas disease) av SAV2-subtypen, og det var et betydelig innslag av sår og sårinfeksjoner. Fra da av ble helse- og velferdssituasjonen beskrevet som moderat til god. Avlusinger, gjelleagens, PRV, samt innslag av ryggdeformiteter og kjønnsmodning har også bidratt til dette.
- Velferdsscore ga noen anmerkninger hovedsakelig på indikatorer som er forenlig med skader etter håndtering og avlusing. Her kan det tyde på at dobbel håndtering av en del fisker i Aquatrazmerdene har vært en ekstra risikofaktor. Ellers var det stort sett lavgradige anmerkninger, og det er ikke gjort anmerkninger som mistenkes å ha sammenheng med høy tetthet i noen av merdene.

Vannkvalitet

- Hydrografiske profiler viser at oksygenkonsentrasjonen gjennomgående var høy og relativt stabil i Aquatrazmerdene. Ved de tilfellene der fisketettheten var over 25 kg/m³ viser oksygenprofilene ingen systematisk nedgang eller økt variasjon i noen av Aquatrazmerdene.
- Fastmonterte oksygensensorer viser at man i samtlige Aquatrazmerder har klart å opprettholde en god vannutskiftning og gode oksygenverdier for fisken også ved fisketetthet over 25 kg/m³. Store døgnvariasjoner er også unngått.
- Vannkjemiske analyser viser god vannkvalitet med lave nivåer av fritt CO₂ og total ammonium nitrogen (TAN) gjennom hele analyseperioden for samtlige grupper. Det var ingen tendens til økning i CO₂ eller TAN ved høyere tetthet. Det er heller ingen indikasjoner på økt partikkelbelastning ved økt tetthet.

I tillegg til velferdsmessige aspekter har det vært viktig å opparbeide driftserfaring med høy fisketetthet og aktiv vannutskiftning ved bruk av strømsettere. Uttestingen viser at bruk av serieproduserte mikserne til vannutskiftning fungerer godt. Påliteligheten til mikserne har vært svært bra under forsøket, men det har vært en del utfordringer som følge av konstruksjonsmessige svakheter ved selve dysene og støttestrukturen til disse. Dette har ført til at det i perioder har vært færre enn fire mikserne i drift på hver merd ved reparasjon av dysene, noe som har ført til perioder med redusert vannutskiftning.

2. Forkortelser og definisjoner

AG	Aquatraz merdgenerasjon
AQT	Aquatraz. Brukes for å navnsette merd etter leveringsnummer, eks. AQT1.
bFF	Biologisk fôrfaktor
BP	Biologiprogram. Følger første merd av hver merdgenerasjon i Aquatrazprosjektet.
CO ₂	Karbondioksid
CTDO	Måleinstrument for konduktivitet, salinitet, dybde og oksygen
HSMB	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse
HSS	Hemoragisk smoltsyndrom
IMM	Ikke-medikamentell metode, behandling mot lakselus.
K-faktor	Kondisjonsfaktor
KTR	Kontrollmerd i Aquatraz biologiprogram
M	Merd. Brukes for å navnsette konvensjonelle merder, eks. M5.
NH ₃ -N	Ammoniakk
O ₂	Oksygen
OVI	Operativ velferdsindikator
PD	Pancreas disease
PRV	Piscint orthoreovirus
SAV2	Salmonid alfavirus subtype 2
TAN	Total ammonium nitrogen
TOC	Totalt organisk karbon
TSS	Totalt suspendert stoff
VF3	Vekstfaktor 3
VI	Velferdsindikator
øFF	Økonomisk fôrfaktor

3. Innledning

3.1. Bakgrunn og målsetning

Midt-Norsk Havbruk AS er tildelt fire utviklingstillatelser for å utvikle Aquatraz til en merd som kan bidra til å løse en eller flere av de miljø- og arealutfordringene som akvakulturnæringen står ovenfor. Aquatraz er en semilukket stålmerd som utvikles av Seafarming Systems AS (teknologieier) i samarbeid med Midt-Norsk Havbruk AS.

Hovedmålet til prosjektet er å utvikle Aquatraz til en kommersiell merd som bidrar til å:

- bedre fiskehelse og fiskevelferd, ved å redusere eller fjerne behov for avlusing samtidig som fisken sikres god vannkvalitet gjennom kontinuerlig vannutskiftning (oksygenrikt vann)
- redusere faren for rømming (rømningssikker teknologi)
- bedre produktkvaliteten
- bedre HMS for røkterne

En forutsetning for at merden skal kunne bidra til å løse en eller flere av utfordringene næringen står ovenfor er at merden tas i bruk av flere oppdrettere, det betyr at Aquatraz må være konkurransedyktig med konvensjonelle merder.

Målet skal nås gjennom utvikling av fire generasjoner Aquatrazmerder, hvor læring fra forrige generasjon implementeres i neste merdgenerasjon. Gjennom prosjektet er det så langt bygget fire Aquatrazmerder fordelt på tre merdgenerasjoner. Alle merdene er satt i produksjon, tabell 3.1 gir oversikt over hvilke lokaliteter merdene har vært eller er i drift på rapportdato.

Tabell 3.1: Oversikt over Aquatrazmerder og lokaliteter.

Merid nr.	Meridgenerasjon	Lokalitet	Produksjonsperiode
AQT1	AG1	Eiterfjorden - 35877	10/2018 – 08/2019
		Kyrøyene - 30076	10/2019 – 07/2020
AQT2	AG1	Eiterfjorden – 35877	04/2018 – 08/2019
		Kyrøyene - 30076	09/2019 – 07/2020
AQT3	AG2	Kyrøyene - 30076	10/2019 – 09/2020
AQT4	AG3	Årsetfjorden - 35797	06/2020 –

En viktig del av prosjektet er å dokumentere biologisk produksjon, med tanke på å:

- benytte erfaringene i utviklingen av neste merdgenerasjon
- sammenligne hvordan Aquatraz presterer i forhold til konvensjonelle merder. Dette er et viktig redskap i arbeidet med kommersialisering av merden
- erverve kunnskap om fullskala produksjon med økt tetthet med mål om å endre akvakulturdriftsforordningens §25 og §47a for semilukkede merder med aktivt vannutskiftningssystem

Aquatrazteknologien er betydelig dyrere enn konvensjonell merdteknologi, slik at både fiskevelferd og produktivitet må være bedre sammenlignet med konvensjonelle merder for at Aquatraz skal lykkes kommersielt.

Produktiviteten kan forbedres gjennom bedre tilvekst, lavere dødelighet, redusere «tapte» fôringsdager (unngå avlusing) og ved å øke antall fisk og fisketetthet i hver merd.

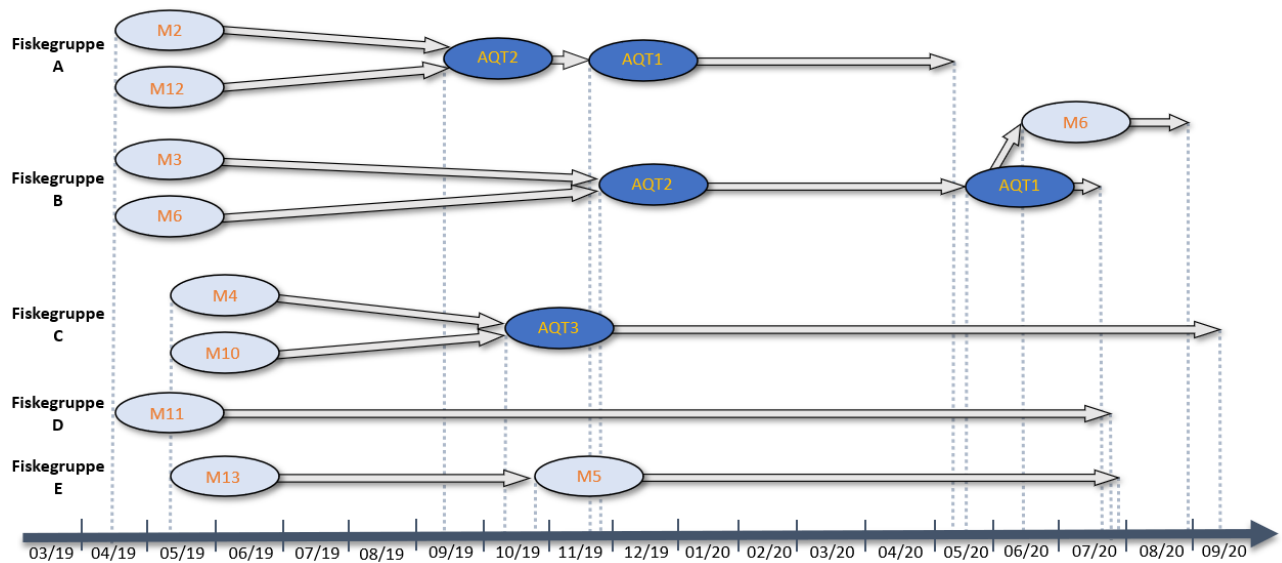
3.2. Produksjon og tetthetsutvikling

Midt-Norsk Havbruk søkte og fikk dispensasjon fra Fiskeridirektoratet (17/11183, datert 14.05.2019) og Mattilsynet (2019/113262, datert 31.05.2019) til å gjennomføre én syklus i hver av de fire første Aquatrazmerdene med maksimalt 400 000 fisk i hver enhet, og tetthet opp til maksimalt 45 kg/m³. Første del av forsøket er gjennomført på lokalitet Kyrøyene, hvor laks av vårgenerasjonen 2019 (V19-generasjonen) ble overført til Aquatrazmerd 1, 2 og 3. Oversikt over gjennomførte produksjonssykluser på Kyrøyene med økt tetthet er gitt i tabell 3.2 og figur 3.1.

Tabell 3.2: Oversikt over fiskegrupper på Kyrøyene på V19-generasjonen. Grunnlag for beregning av maksimal tetthet er beregnet vekt i produksjonsstyringssystemet Fishtalk samt korreksjon for slaktevekt.

Fiskegruppe	Satt ut i merd	Samlet antall fisk ved utsett	Utsett (mnd/år)	Utslakt (mnd/år)	Maksimal tetthet (kg/m ³)
A (i Aquatraz)	2 og 12	352 175	04/2019	05/2020	24,1
B (i Aquatraz)	3 og 6	370 794	04/2019	07/2020	29,7
C (i Aquatraz)	4 og 10	313 088	05/2019	08/2020	26,4
D (konvensjonell)	11	177 400	04/2019	07/2020	19,5
E (konvensjonell)	13	155 946	05/2019	07/2020	17,1

Forsøkene er gjennomført i samsvar med vilkår gitt i tilsagn fra henholdsvis Fiskeridirektoratet og Mattilsynet. Tetthetsutviklingen for alle fiskegrupper fra tidspunktet for første overføring av fisk til en Aquatrazmerd på lokaliteten Kyrøyene er angitt i figur 3.2. For fiskegruppe A var det et betydelig avvik mellom beregnet snittvekt i produksjonsstyringssystemet Fishtalk og det som ble veid på slakteriet, for de andre gruppene var det mindre avvik. Maksimal tetthet oppnådd i første del av i forsøket ble 29,7 kg/m³ i fiskegruppe B, mens fisken sto i AQT1.



Figur 3.1: Oversikt over produksjonen i de ulike fiskegruppene.



Figur 3.2: Tetthetsutvikling for alle fiskegrupper på lokaliteten. Fiskegruppe B og C ble flyttet inn i Aquatraxmerder ved månedsskiftet oktober/ november, og tettheten er vist fra innflyttingstidspunkt. Grønt kryss indikerer maksimal tetthet i gruppe A korrigeret for slaktevekt. Reduksjon i tetthet i fiskegruppe D i uke 51/2019 skyldes notskifte til not med større volum. Fiskegruppe C og fiskegruppe E har reduksjon i tetthet i hhv uke 28/2020 og uke 23/2020 på grunn av delslakt.

I november 2019 ble det påvist PD på fisken på lokalitet Kyrøyene. Dette i kombinasjon med et betydelig lusepress på lokaliteten bidro til at forsøket ble avsluttet på en lavere tetthet enn

opprinnelig planlagt. Fisken i AQT1 og AQT2, samt 150 000 fisk fra AQT3 ble slaktet ut i løpet av mai og juli 2020. Resterende fisk i AQT3 ble slaktet i august og september 2020.

3.3. Oppbygging av rapporten

I denne rapporten presenteres og diskuteres resultater fra dokumentasjonsarbeidet som er gjennomført under forsøket. Kapittel 4 omhandler dødelighet og dødelighetsårsaker, lusesituasjon, resultater fra helsekontroller og individkontroller. Produksjon og faktorer som har påvirket produksjonen evalueres, og beregnet VF3 på dagnivå og etter endt produksjon presenteres for alle fiskegruppene. Fôrfaktor er evaluert, samt at et utdrag av slaktedata er diskutert.

Kapittel 5 omhandler vannkvaliteten. Ulike vannparametere som har betydning for fiskens helse og velferd er logget systematisk under forsøket. Resultater fra disse målingene presenteres og diskuteres her.

I kapittel 6 gis det en kort oppsummering av erfaringer fra drift av Aquatrazmerder med aktivt vannutskiftningssystem.

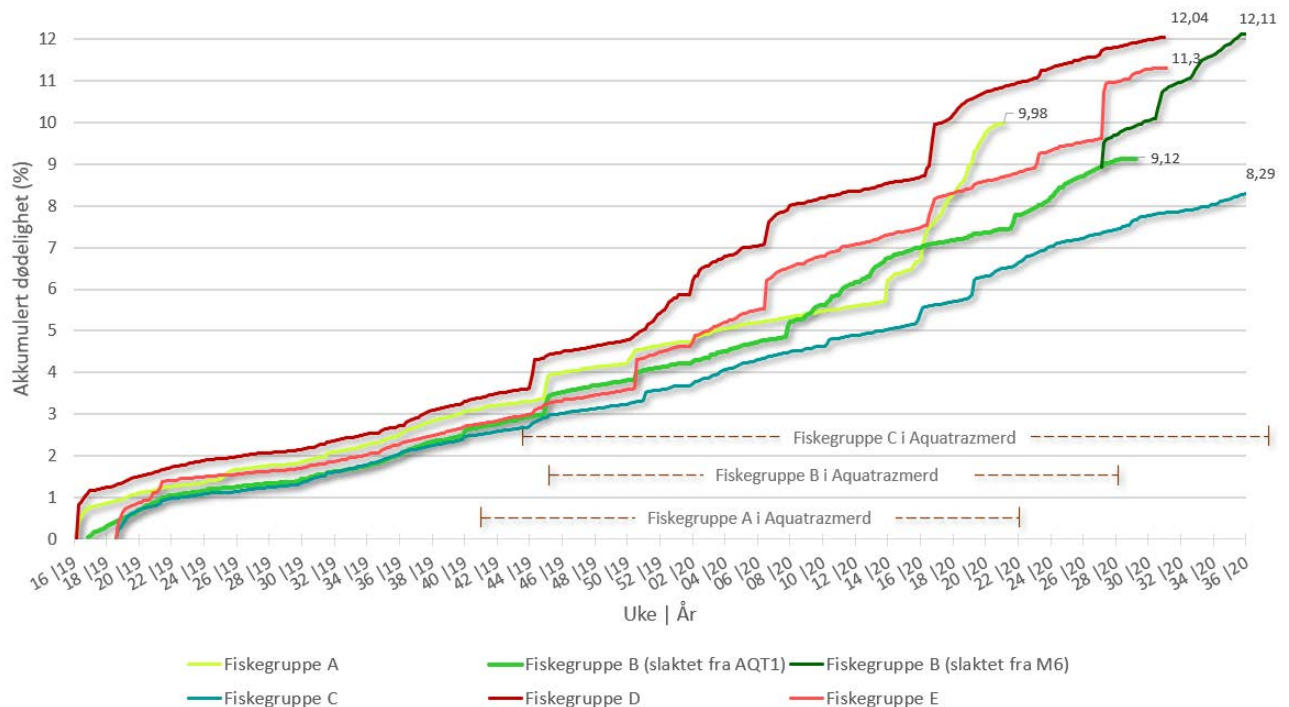
4. Fiskevelferd

4.1. Formål og bakgrunn

Formål med denne delen av måleprogrammet var å dokumentere fiskevelferd, og se etter indikasjoner på om den økte tettheten påvirket fiskevelferdsparametere i noen retning. Programmet har, slik som beskrevet i søknaden, fokusert på typiske parametere som kan påvirkes av økt tetthet (Oppedal et al. 2011). I tillegg er det tatt med flere andre parametere som vi også ønsket å dokumentere. Tetthetsprogrammet er knyttet til fiskegruppene A, B og C, som alle var i en Aquatrazmerd i deler av produksjonen. Gruppe C har i tillegg vært en del av det ordinære biologiprogrammet som inngår som en del av dokumentasjonen i Aquatrazprosjektet, slik at oppfølgingen for denne gruppen har det vært mer omfattende. Noe av dette presenteres i denne rapporten, men mer utfyllende resultater fra det ordinære biologiprogrammet vil presenteres i en egen rapport.

4.2. Dødelighet og dødelighetsårsaker

Dødelighet og registrerte dødelighetsårsaker er hentet ut fra produksjonsstyringssystemet Fishtalk. Som vist i figur 3.1 var fisken ved utsett plassert i konvensjonelle merder. Hver Aquatrazmerd fikk fisk fra to konvensjonelle merder. I figurene i dette kapitlet er det vist et gjennomsnitt av dødeligheten for de to konvensjonelle merdene i den aktuelle perioden, da det var små forskjeller i dødelighet og årsaksfordeling mellom de enhetene det gjaldt i den perioden.



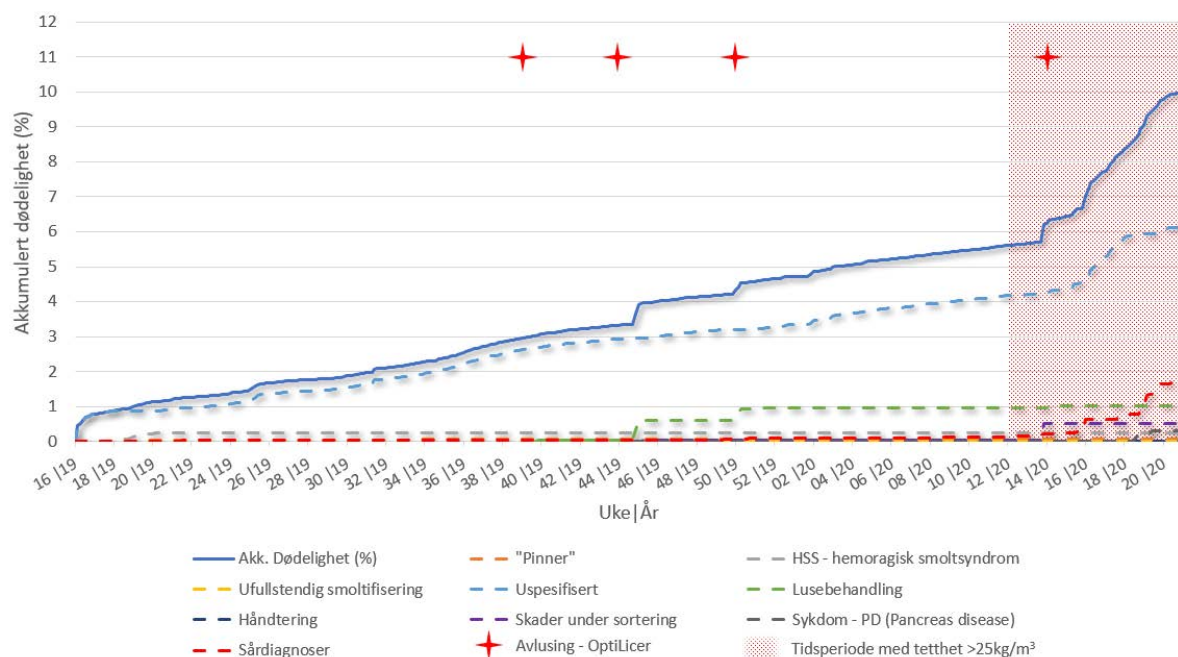
Figur 4.1: Akkumulert dødelighet fra utsett til slakt for alle fiskegrupper på lokaliteten. Hvilken periode de ulike gruppene var i en Aquatrazmerd er markert.

Fiskegruppene som har stått i Aquatrazmerder har hatt den laveste akkumulerte dødeligheten regnet fra starten av produksjonen til enden av produksjonen, som vist i figur 4.1. Disse fiskegruppene har også hatt den høyeste fisketettheten (figur 3.2). Fiskegruppe A har brattere dødelighetskurve enn flere av de andre gruppene i siste del av produksjonen. Dette settes i sammenheng med den siste avlusingen på denne gruppen, se også figur 4.2 for registrerte dødelighetsårsaker for fiskegruppe A.

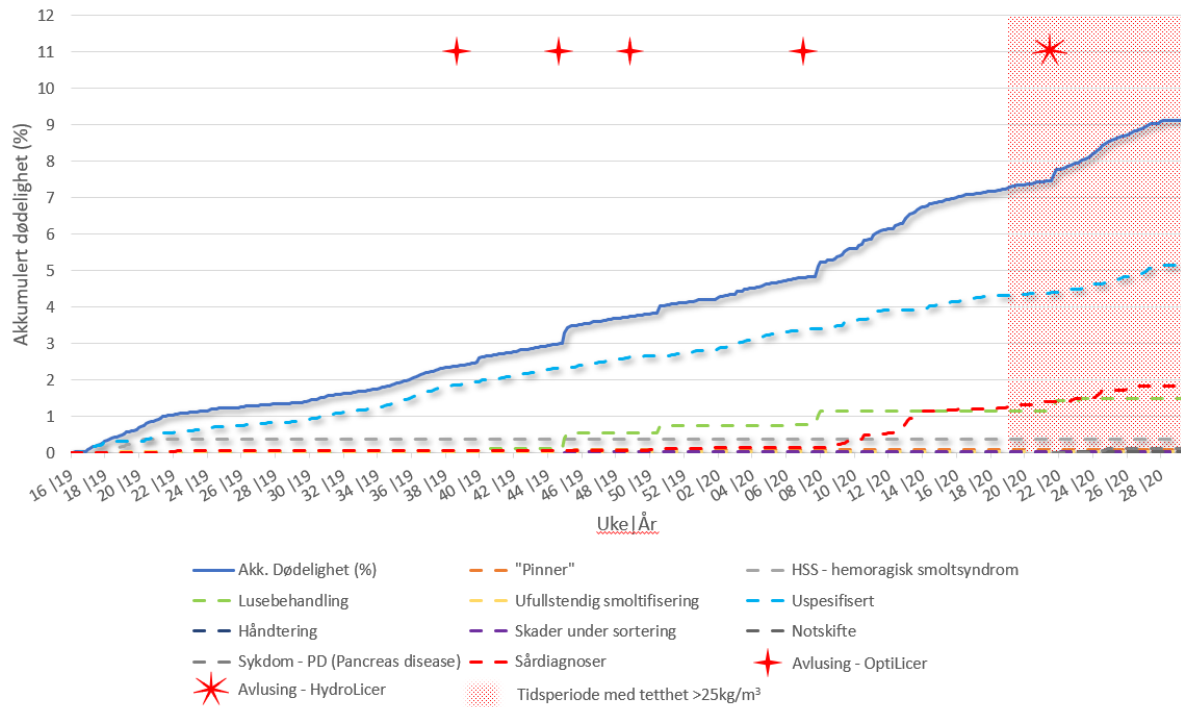
Det overordnede bildet viser dermed en noe lavere totaldødelighet i de fiskegruppene som har stått i Aquatrazmerder sammenlignet med fisken som har stått i konvensjonelle merder.

Registrerte dødelighetsårsaker for hver enkelt fiskegruppe er illustrert i figur 4.2 til og med 4.6. Som det framgår av disse figurene er det ikke identifisert spesielle dødelighetsårsaker som peker seg ut i Aquatrazmerdene sammenlignet med de konvensjonelle merdene. Det er heller ikke spesielle dødelighetsårsaker som dominerer i periodene med høyere tetthet enn 25 kg/m³. Det betyr at man ut fra dette grunnlaget ikke kan peke på at den økte tettheten gir forhøyet risiko for spesielle dødelighetsårsaker. For de dominerende dødelighetsårsakene er det heller ingen tegn til at disse er relatert til økt tetthet. "Uspesifisert" er den vanligste dødsårsaken, og hva som ligger i den er usikkert. For eksempel kan gjelleagens og PRV ha bidratt, se nærmere omtale i kapittel 4.5.

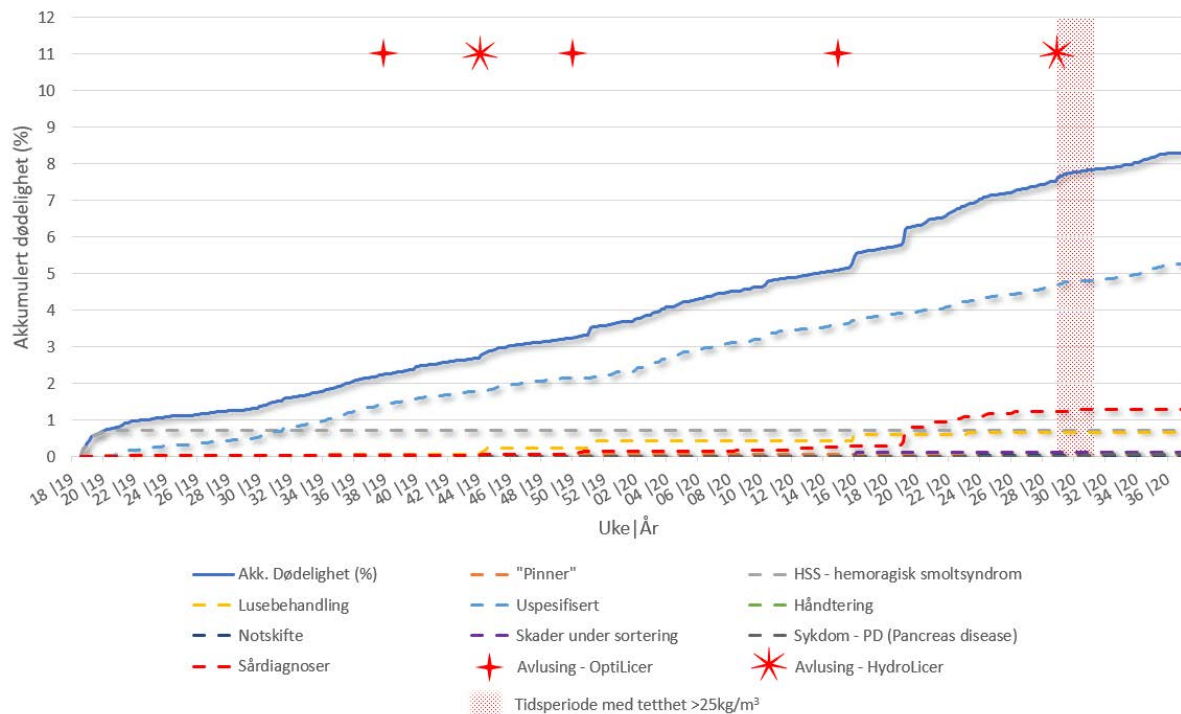
Lusebehandling og sårdiagnoser ligger gjennomgående relativt høyt som registrerte dødelighetsårsaker i alle gruppene. Det at det er færre lusebehandlinger på fiskegruppene som har stått i Aquatrazmerdene sammenlignet med fiskegruppene som har stått hele produksjonsperioden i konvensjonelle merder (tabell 4.2 og 4.3), kan dermed være med på å forklare hvorfor fiskegruppene som har stått i Aquatrazmerder har hatt lavere dødelighet totalt. For noen fiskegrupper har hemoragisk smoltsyndrom (HSS) blitt registrert som dødelighetsårsak på en ikke ubetydelig andel individer, dette gjelder kun perioden like etter utsett av smolt, og relateres ikke til perioden fiskegruppene har stått i Aquatrazmerder eller tilsvarende tidsperiode for de konvensjonelle merdene.



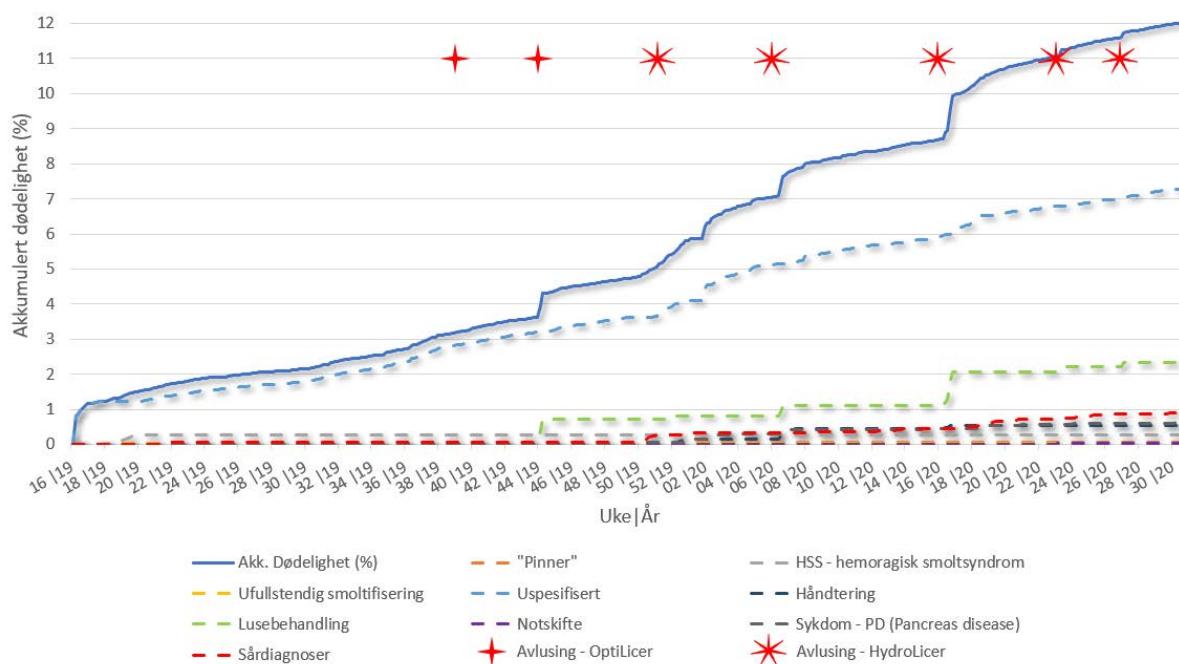
Figur 4.2: Registrerte dødelighetsårsaker samt avlusingstidspunkt for fiskegruppe A. Skravert område markerer perioden med tetthet over 25 kg/m³.



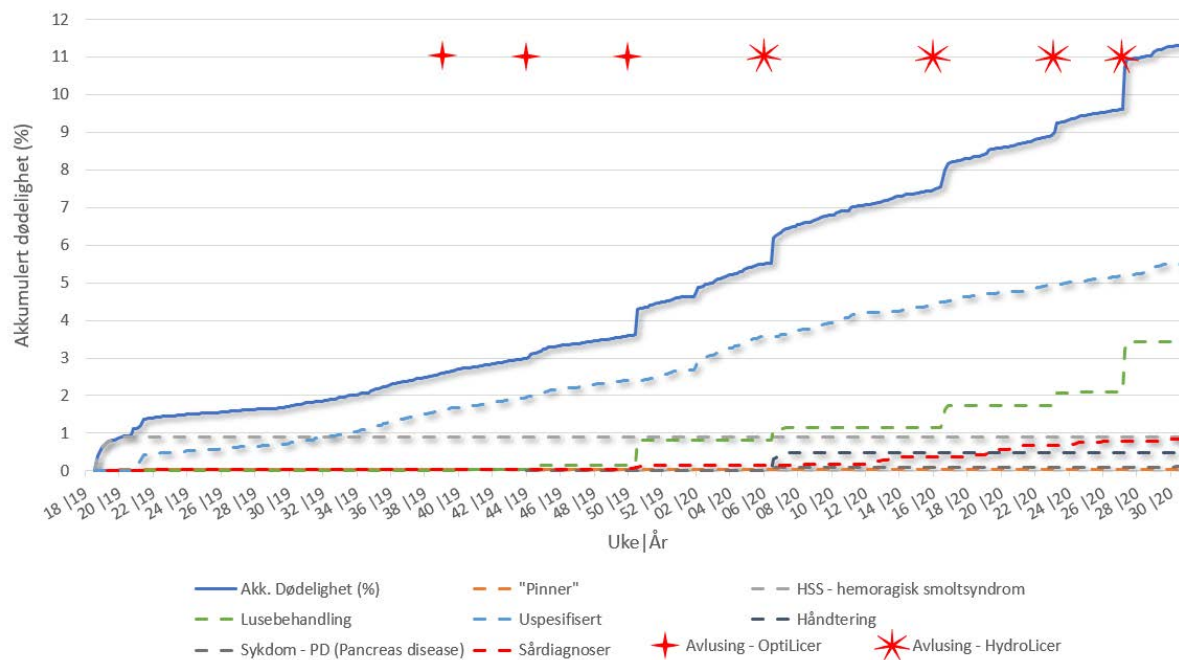
Figur 4.3: Registrerte dødelighetsårsaker samt avlusingstidspunkt for fiskegruppe B. Skravert område markerer perioden med tetthet over 25 kg/m³.



Figur 4.4: Registrerte dødelighetsårsaker samt avlusingstidspunkt for fiskegruppe C. Skravert område markerer perioden med tetthet over 25 kg/m³.



Figur 4.5: Registrerte dødelighetsårsaker samt avlusingstidspunkt for fiskegruppe D.



Figur 4.6: Registrerte dødelighetsårsaker samt avlusingstidspunkt for fiskegruppe E.

4.3. Utfôring, beregnet tilveksthastighet og beregnet fôrfaktor

Utfôring og tilveksthastighet, samt biologisk og økonomisk fôrfaktor er sentrale produksjonsparametere. I løpet av produksjonen har det vært flere støyfaktorer som vanskeliggjør en evaluering av hvordan tetthet påvirker prestasjonen. Det medfører at det er enda større usikkerhet i disse tallene enn hva som er normalt ved evaluering av storskala produksjon.

For hele lokaliteten gjelder at det har vært et betydelig lusepress i store deler av produksjonen. Dette har resultert i flere behandlinger, og noen av disse i ved lave vanntemperaturer. Dette er beskrevet nærmere i kapittel 4.4. Håndtering av fisk medfører risiko for påkjenninger og dødelighet, og risikoen er forhøyet når sjøtemperaturen er lav. Spesielt fiskegruppe A ble påkjent etter en avlusing i mars. Det resulterte i både akutt forøket dødelighet og utvikling av sår hos en betydelig andel fisk, det siste medførte igjen ytterligere dødelighet og redusert velferd en periode etter avlusingen. I mindre grad hadde flere andre fiskegrupper også avlusinger som preget helse- og velferdssituasjonen i etterkant av håndteringsoperasjonen. Man kan forvente at dette har hatt betydning også for tilvekst og fôrfaktor.

Alle fiskegruppene på Kyrøyene ble også smittet av PD (pancreas disease) av SAV2-subtypen, se nærmere beskrivelse i kapittel 4.5. Dette er en sykdom som blant annet påvirker tilvekst og fôrutnyttelse (Pettersen et al. 2018). Forløpet av sykdommen kan være forskjellig på ulike lokaliteter og fiskegrupper, alt fra subklinisk forløp (Graham et al. 2006) til betydelige kliniske utslag er beskrevet. På Kyrøyene ble det observert kliniske tegn forenlig med PD og sykdommen kan ha påvirket resultatene, også med hensyn til tilveksthastighet og fôrfaktor.

I Aquatrazmerdene har det vært tekniske utfordringer med strømsetterne, noe som har gjort at vannutskiftningen ikke har vært optimal hele tiden. Dette kan også ha påvirket tilvekst og fôrutnyttelse i perioder.

Et annet moment som har vist seg spesielt viktig for Aquatrazmerdene er hvor utfôringspunktene plasseres relatert til vannstrømmen. Her er det, ut fra vannstrømmodelleringen som er utført, grunn til å tro at utfôringspunktene på Aquatrazmerdene i deler av produksjonen har vært for nær kanten av merden. Dette kan ha medført at en del fôr raskt har blitt ført med strømmen ut av merden og slik ha bidratt negativt til fôrfaktoren i Aquatrazmerdene.

De fiskegruppene som ble stående til sommeren 2020 før de ble slaktet, hadde betydelig innslag av kjønnsmodning. Det ble funnet kjønnsmodning på både hunnfisk og hannfisk fra fiskegruppe C og E i juli 2020, noe som indikerer at prosessen da hadde kommet relativt langt. Dette ga utslag på nedklassing ved slakt, spesielt for den delen av fiskegruppe C som ble slaktet i slutten av august og begynnelsen av september (tabell 4.4). Hvor stor innvirkning dette har hatt på tilvekst og fôrfaktor er ikke kvantifisert for fiskegruppene på Kyrøyene, men det er kjent at det kjønnsmodning har betydelig innvirkning på begge disse faktorene (Taranger et al. 2009). Dette vil i så fall kunne være tilfelle for alle fiskegrupper med unntak av fiskegruppe A, og antakelig i størst grad for fiskegruppe C. Kjønnsmodning er en meget energikrevende prosess, og spiseadferden vil etter hvert avta eller stoppe opp.

Det kan også nevnes at kjønnsmodning kan medføre en økt usikkerhet i estimert rund slaktevekt. Taranger et al. (2009) viser til at gonadosomatisk indeks på hannlaks øker i kjønnsmodningsprosessen fra <0,1% opp til maksimalt 5-10%, samtidig som kroppsvekten går ned. Ved individkontrollen på fiskegruppe C i juli ble det sett testikler med diameter på opp til ca. 6 cm, mens man fant ovarier på størrelse med lever. På slakteriet veies fiskene etter at de er sløyd, og rundvekt kalkuleres med en faktor. På det aktuelle slakteriet beregnes dette ut fra en standard faktor der man

antar at sløydvekt er 84% av rundvekt. For fisk i kjønnsmodning med store gonader kan det ikke utelukkes at denne faktoren reelt sett er annerledes og det er derfor en usikkerhet knyttet til faktisk rundvekt på de fiskegruppene som hadde betydelig innslag av kjønnsmodning. En slik usikkerhet og det at man ikke har noen større undersøkelser av gonadeutvikling i forbindelse med slakting kan gjøre beregnet tilveksthastighet og fôrfaktor noe usikre.

Tilvekst kan beskrives på ulike måter, og i søknaden om økt tetthet er både utfôring og tilveksthastighet nevnt. I det følgende er det valgt å konsentrere seg om vekstfaktor 3 (VF3) som mål på tilveksthastighet. Formelen for VF3 (eller thermal growth coefficient, TGC) er:

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

I formelen er vekt₂ sluttvekten, vekt₁ er startvekten og $\sum T^{-1}$ er døgnggradsummen.

Utfôringsprosent vil være en del av grunnlaget for tilvekst per dag og dermed for VF3.

Utfôringsprosent vil også være avhengig av sjøtemperaturen og fiskens vekt. VF3 er derimot laget for å være uavhengig av temperatur og fiskestørrelse og kan brukes som et mål gjennom produksjonen hvor sjøtemperatur og fiskestørrelse varierer. Av den grunn er VF3 valgt som indikator, og utfôringsprosent vil ikke bli omtalt i denne rapporten.

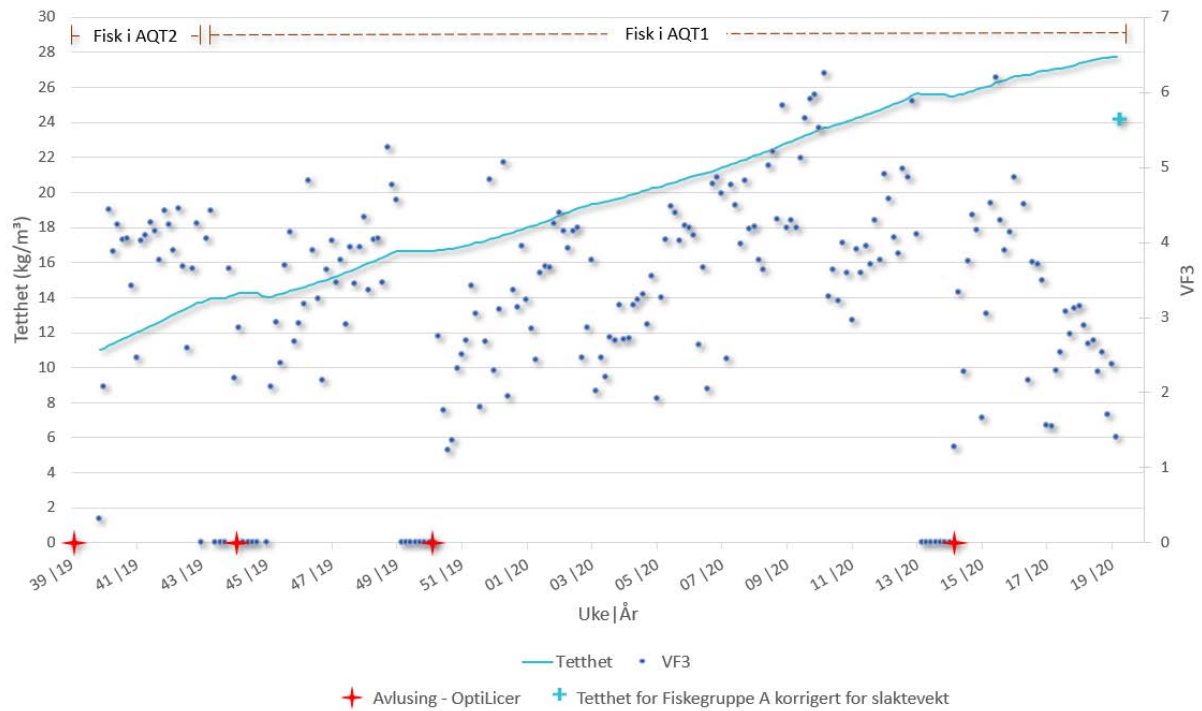
VF3 beskrevet i figurene 4.7 til og med 4.16 gir ikke et entydig bilde. Tilvekst kan synes å være upåvirket eller lite påvirket av tetthet i fiskegruppene A og E. For fiskegruppene B, C og D kan det på grafene se ut som økt tetthet har negativ innvirkning på tilveksthastighet. Det er usikkert hvorvidt tettheten her har spilt noen reell rolle, eller om kjønnsmodning, PD, sår osv. har vært de faktorene som reelt sett har bidratt. At andre faktorer enn tetthet har større innvirkning understøttes av utviklingen i fiskegruppe C og E, der det er gjort delslakt med påfølgende redusert tetthet. Her har trenden for VF3 fortsatt nedover selv etter at tettheten er redusert i produksjonsenheten, se figur 4.9 og 4.11.

Alle fiskegrupper utenom fiskegruppe B har en beregnet akkumulert VF3 for hele produksjonsperioden som ligger på ca. 3 eller høyere, se tabell 4.1. Det vil si at til tross for de støyfaktorene som er nevnt over, har tilveksthastigheten for hele perioden fra utsett til slakt vært god.

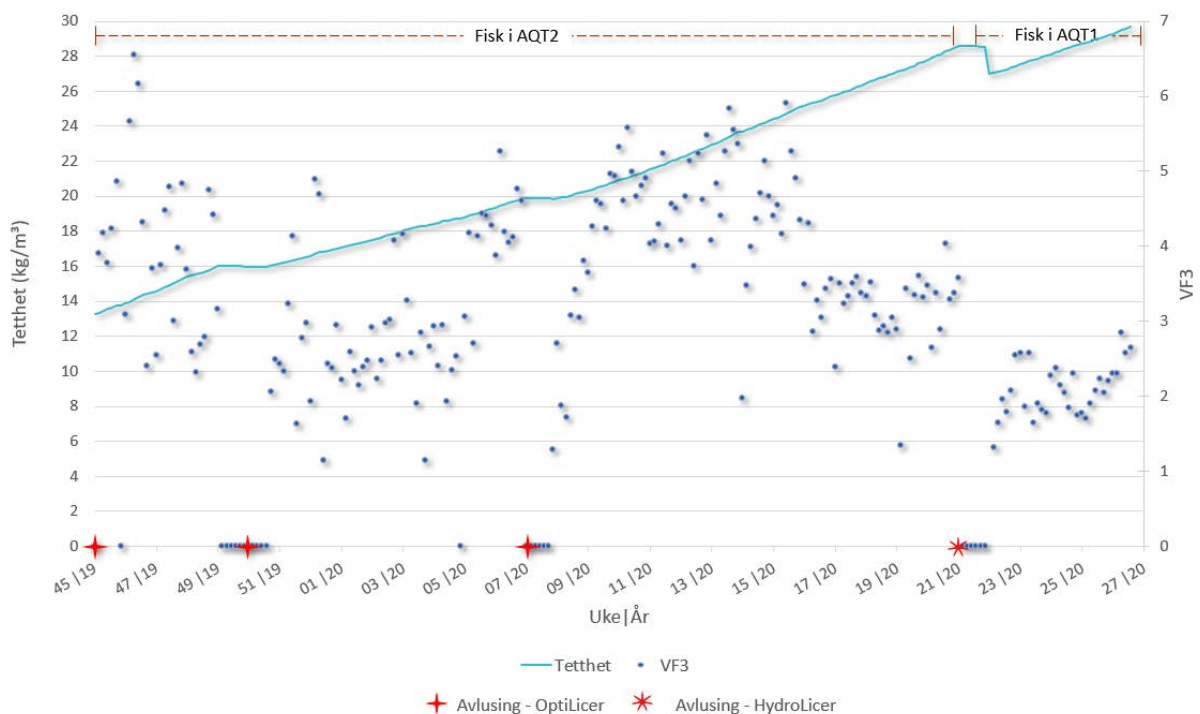
Fôrfaktor, både biologisk og økonomisk, lar seg ikke evaluere på dagnivå. Her er det oppsummering etter produksjonsslutt som er eneste mulighet. Resultatene er angitt i tabell 4.1. Dette viser moderat fôrfaktor for fiskegruppe C, D og E, mens fiskegruppe A og B har kommet ut med relativt dårlig fôrfaktor. Støyfaktorene som er beskrevet over kan ha bidratt til at resultatene for fôrfaktor ikke ble bedre. Det er ikke noe entydig mønster som peker i retning av at tetthet har vært negativt for fôrfaktor.

Da fiskegruppe B ble splittet var det antakelig usikkerhet i antall fisk som ble flyttet til M6, i alle fall viser M6 og AQT1 antallsavvik i ulike retninger ved slakt. Dette gjør at tallene for disse to delene av fiskegruppe B ikke er riktig hver for seg, og at sannheten for begge ligger et sted mellom tallene for hver delgruppe som angitt i tabell 4.1.

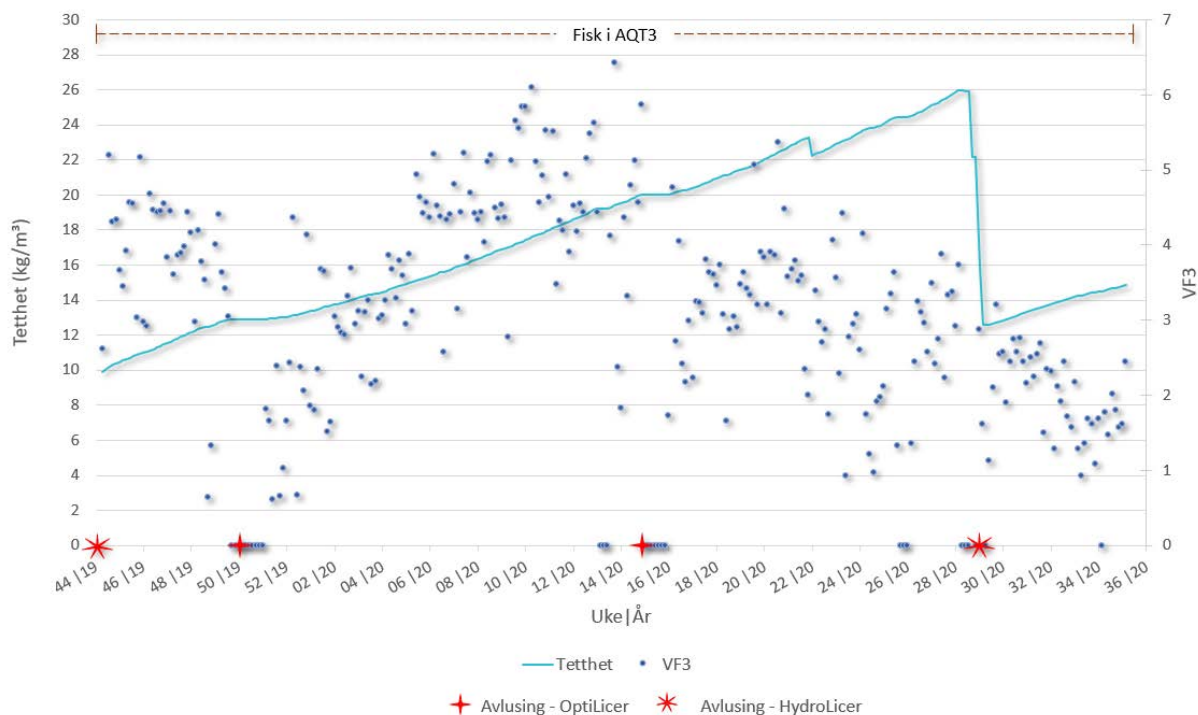
På grunnlag av dette er det vanskelig å dra bastante konklusjoner når det gjelder om tettheten har påvirket tilveksthastigheten og fôrfaktoren. Dette datamaterialet gir ingen grunn til å se på tetthet som en åpenbar risikofaktor for redusert tilveksthastighet eller forøket fôrfaktor.



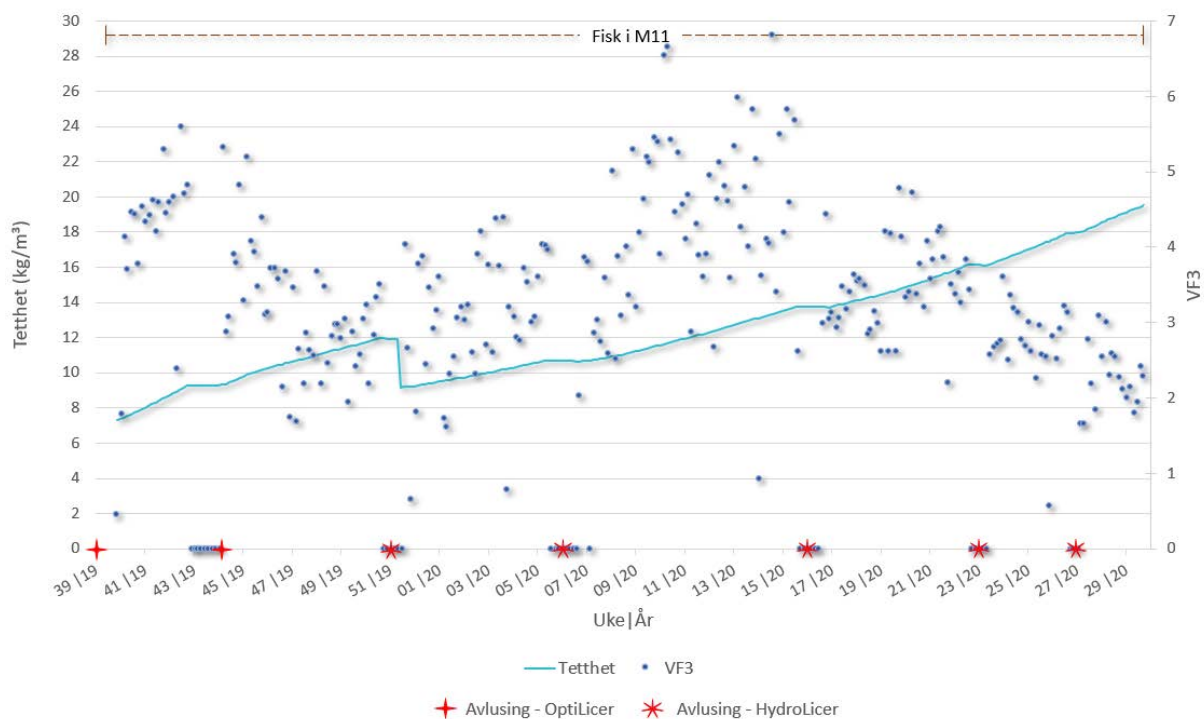
Figur 4.7: Beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe A, med utvikling av tetthet, avlusinger og i hvilken merd fisken var plassert.



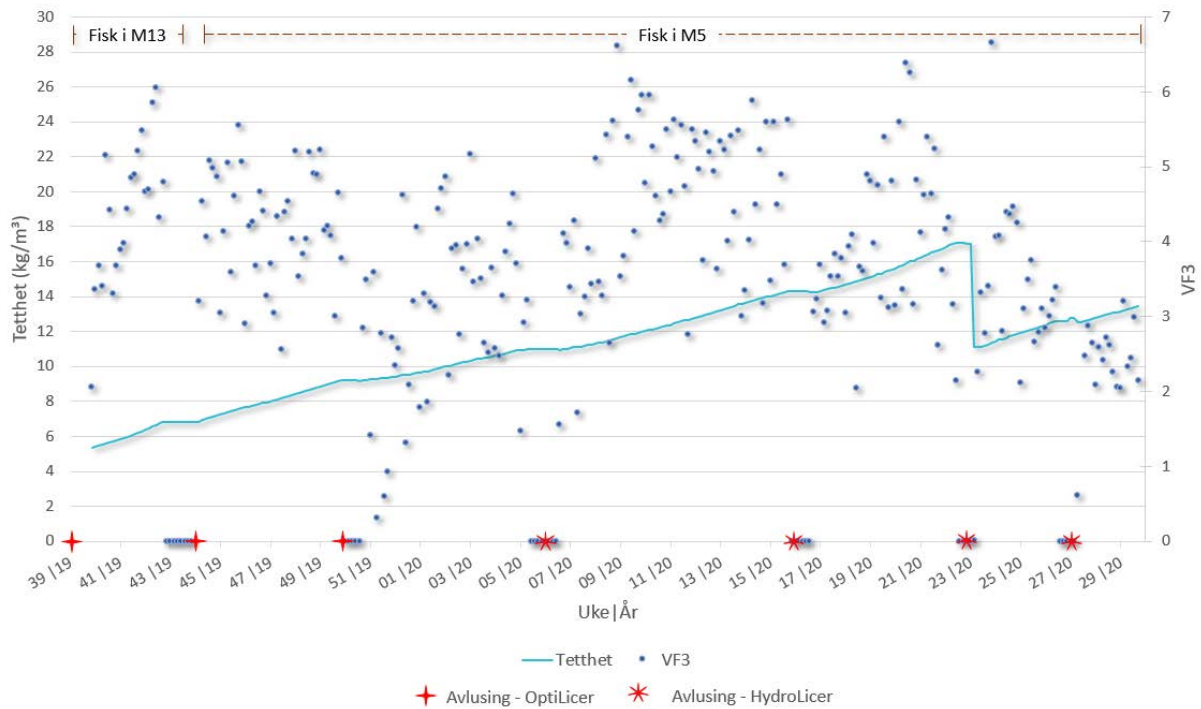
Figur 4.8: Beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe B, med utvikling av tetthet, avlusinger og i hvilken merd fisken var plassert.



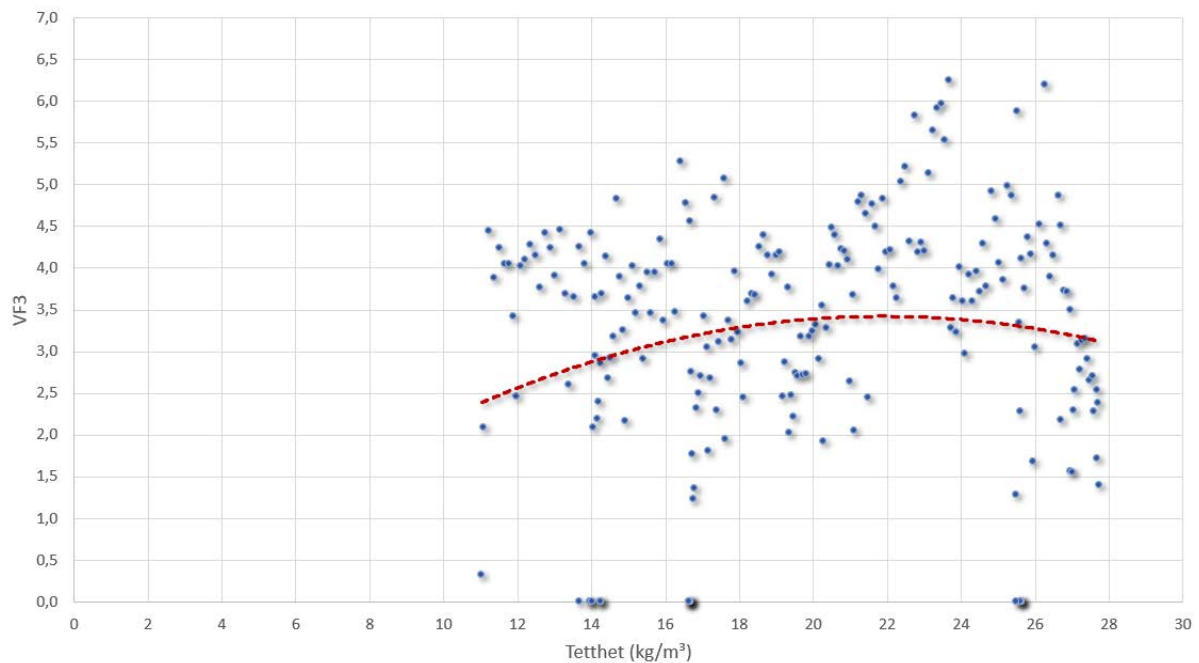
Figur 4.9: Beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe C, med utvikling av tetthet, avlusinger og i hvilken merd fisken var plassert.



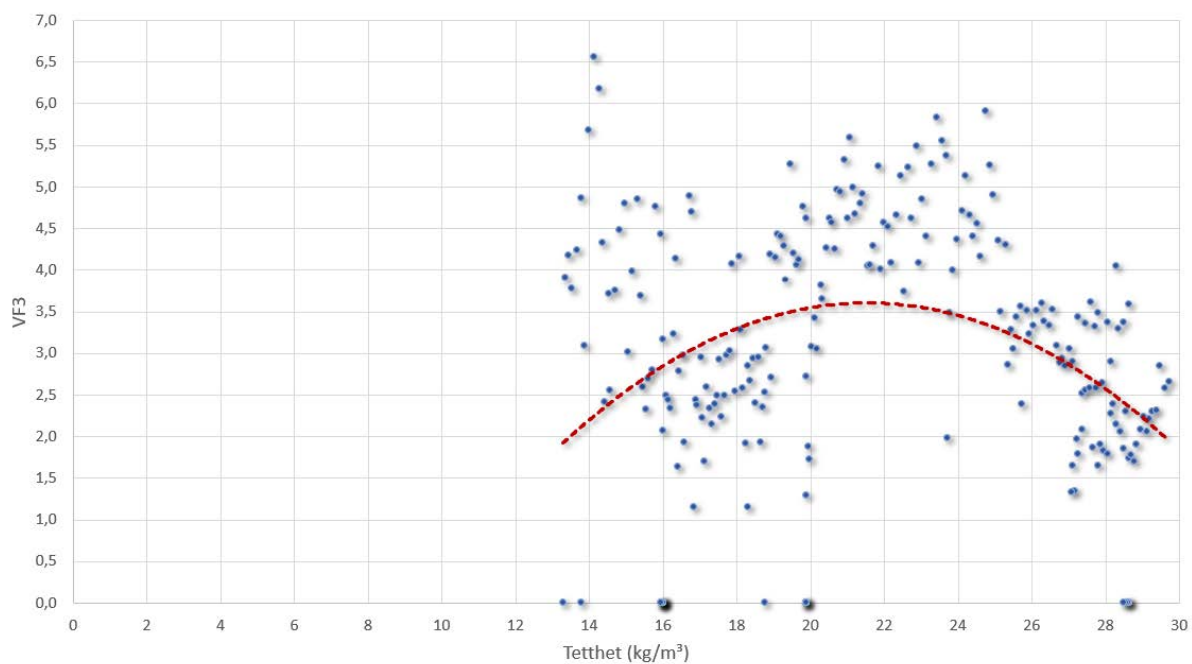
Figur 4.10: Beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe D, med utvikling av tetthet, avlusinger og i hvilken merd fisken var plassert.



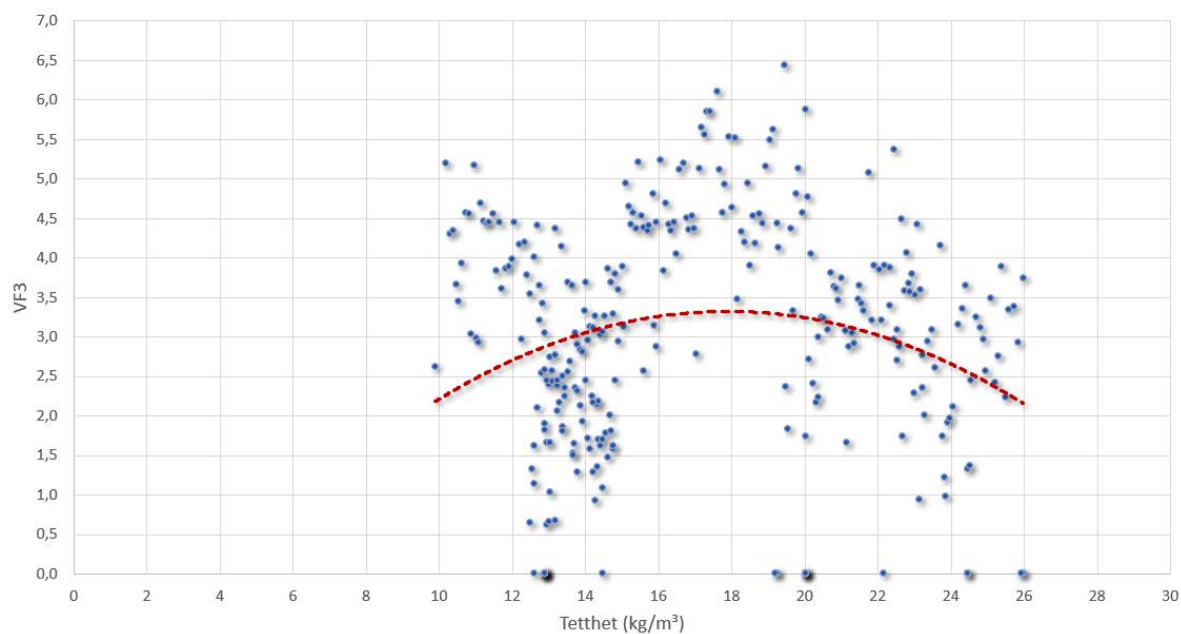
Figur 4.11: Beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe E, med utvikling av tetthet, avlusinger og i hvilken merd fisken var plassert.



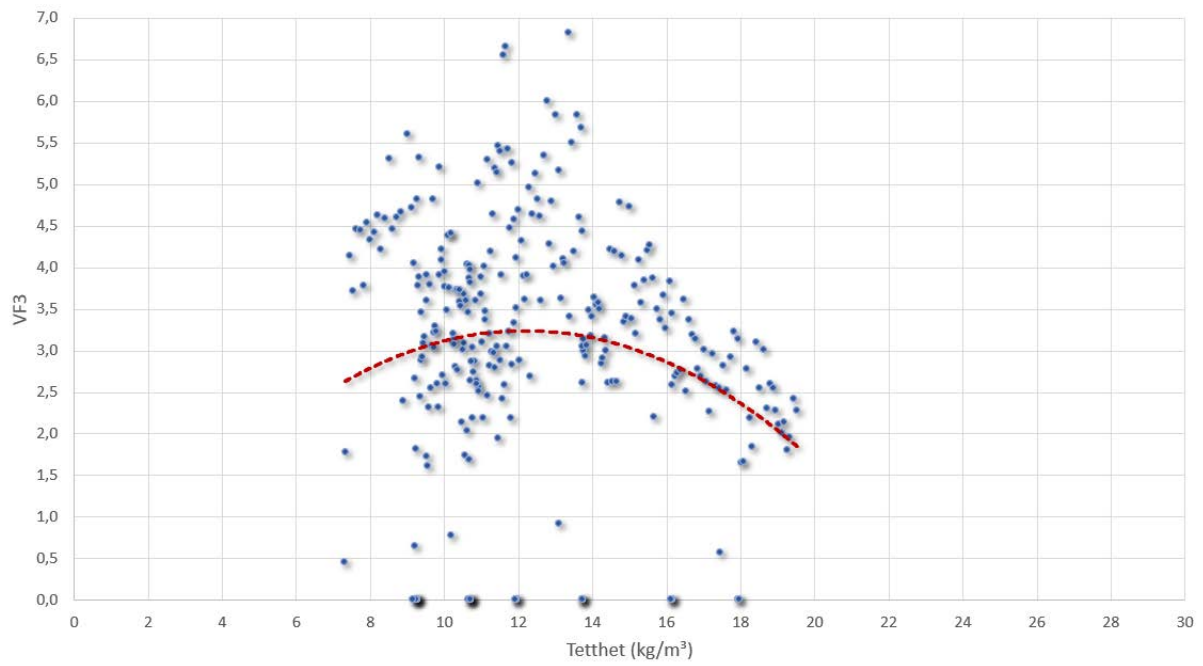
Figur 4.12: Tetthet plottet mot beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe A. Trendlinjen er et andreggradspolynom.



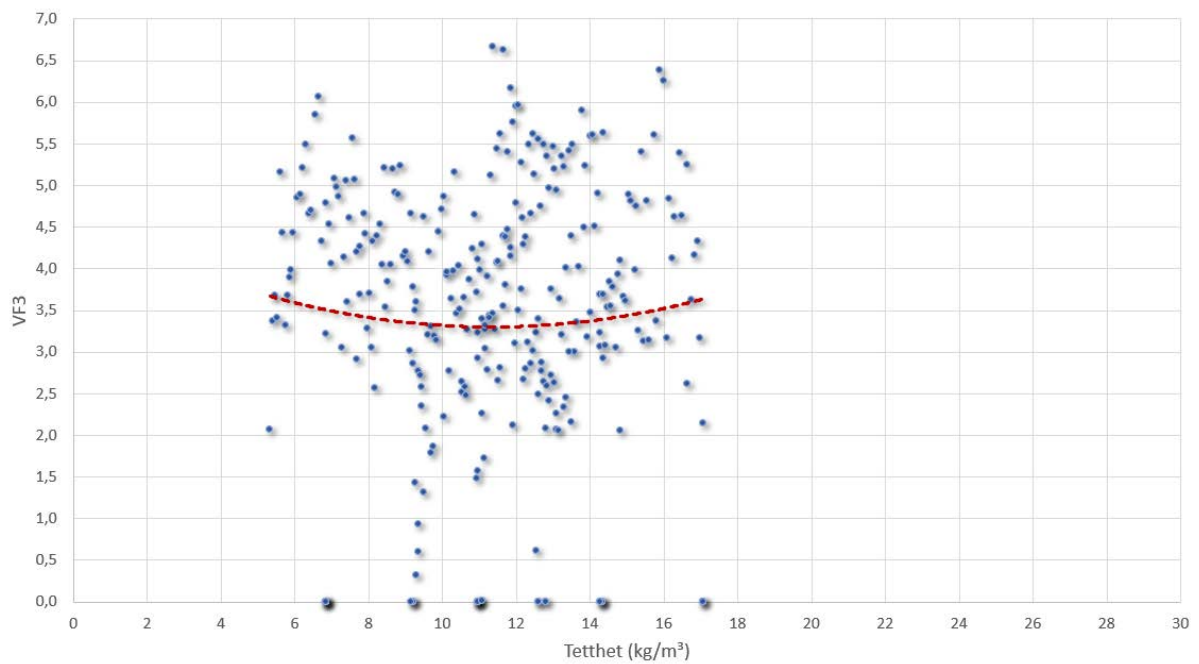
Figur 4.13: Tetthet plottet mot beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe B. Trendlinjen er et andregradspolynom.



Figur 4.14: Tetthet plottet mot beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe C. Trendlinjen er et andregradspolynom.



Figur 4.15: Tetthet plottet mot beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe D. Trendlinjen er et andregradspolynom.



Figur 4.16: Tetthet plottet mot beregnet VF3 på dagnivå for fiskegruppe E. Trendlinjen er et andregradspolynom.

Tabell 4.1: Akkumulert biologisk førfaktor (bFF), økonomisk førfaktor (øFF) og vekstfaktor 3 (VF3) etter endt produksjon for fiskegruppene på Kyrøyene. Antallsavvik ved slakt i ulike retninger for de to delene av fiskegruppe B bidrar til feil i tallene.

Parameter	Fiskegr. A	Fiskegr. B (AQT1)	Fiskegr. B (M6)	Fiskegr. C	Fiskegr. D	Fiskegr. E
bFF	1,34	1,35	1,18	1,26	1,18	1,21
øFF	1,44	1,44	1,27	1,32	1,25	1,29
VF3	3,00	2,86	2,71	2,96	3,00	3,25

4.4. Lakselus

Laksen på Kyrøyene hadde svært lave lusetall fra utsett i konvensjonelle merder i april og mai 2019 fram til sensommeren samme år. Fra om lag månedsskiftet juli/ august ble det observert en økning i lusetallene, noe som ledet til den første avlusingen av samtlige merder i anlegget i uke 39/2019 (tabell 4.2). Smittepresset av lakselus inn til lokaliteten Kyrøyene og resten av sonen som denne lokaliteten ligger i var antakelig betydelig på sensommeren og tidlig høst. I samme periode var det flere lokaliteter i sone Flatanger nord som hadde kjønnsmodne holus og flere avlusinger. Vannstrømmen langs kysten har en hovedretning i dette området som gir risiko for smitte fra sone Flatanger nord til sone Vikna sør.

Etter dette var det et vedvarende smittepress av lakselus på lokaliteten fram til utslakt. Her kan man regne med at intern smitte var viktigst og at smitte fra nabolokaliteter har bidratt i mindre grad (Aldrin et al. 2013).

Alle fiskene på lokaliteten ble avluset i uke 39/2019 og uke 44/2019. Dette ble gjort i samme operasjon som innflytting i Aquatrazmerder, fiskegruppe A i uke 39, mens fiskegruppe B og fiskegruppe C ble flyttet til Aquatrazmerd i uke 44. Effekten av disse behandlingene var ikke optimal, dette ga ikke det beste utgangspunktet for å sammenligne luseutviklingen i de to produksjonssystemene.

Antall avlusninger som har blitt gjennomført på Kyrøyene V-19 er vist i tabell 4.2 og 4.3. Luseutviklingen med tidspunkt for avlusing og avlusingsmetode er presentert i figur 4.17 til figur 4.21.

Aquatrazmerder og konvensjonelle merder har ulike tekniske forutsetninger, og dette medførte at det ble noen forskjeller på hvilke behandlingsmetoder som ble benyttet. Fiskene i de konvensjonelle merdene ble behandlet med Optilicer eller Hydrolicer i brønnbåt, og også med Hydrolicer på lekteren «Hydro». Lekteren «Hydro» ble ikke benyttet på Aquatrazmerdene, blant annet på grunn av vansker med sammenkopling av lossesystemet på merdene og lastesystemet på lekteren. Det var heller ikke noen ledig Aquatrazmerd i anlegget man kunne flytte fisken til undervegs i avlusingsprosessen, og ved de fleste behandlingene var det en forutsetning at fiskene som var i en Aquatrazmerd måtte tilbake til samme merd.

Tabell 4.2: Oversikt over alle avlusinger ved lokaliteten Kyrøyene på V19-generasjonen, på merdnivå.

Uke	Avlusingsmetode	Merd
39/2019	Optilicer	Alle
44/2019	Optilicer	Alle
50/2019	Optilicer	AQT1, AQT2, AQT3, M5
51/2019	Hydrolicer	M11
06/2020	Hydrolicer	M5, M11
07/2020	Optilicer	AQT2
14/2020	Optilicer	AQT1
15/2020	Optilicer	AQT3
16/2020	Hydrolicer	M5, M11
21/2020	Hydrolicer	AQT2
23/2020	Hydrolicer	M5, M11
27/2020	Hydrolicer	M5, M6, M11
29/2020	Hydrolicer	AQT3
30/2020	Hydrolicer	M6

Alle behandlinger som skulle utføres på Aquatrazmerdene måtte derfor gjøres med brønnbåt. Ved hver slik behandling måtte man dele individene i én merd i totalt tre laster for å holde tettheten i brønnbåtene på et akseptabelt nivå. Dermed ble det ekstra håndtering på om lag to tredjedeler av fiskene i Aquatrazmerdene ved hver behandling, da disse først måtte losses i en tom konvensjonell merd, før de senere ble lastet om bord i brønnbåten og behandlet ved lossing tilbake i Aquatrazmerden. Trenging og håndtering er stressende og medfører risiko for skader og sår (Noble et al. 2018), derfor var ekstra håndtering utført i forbindelse med avlusinger på Aquatrazmerdene ikke ønskelig.

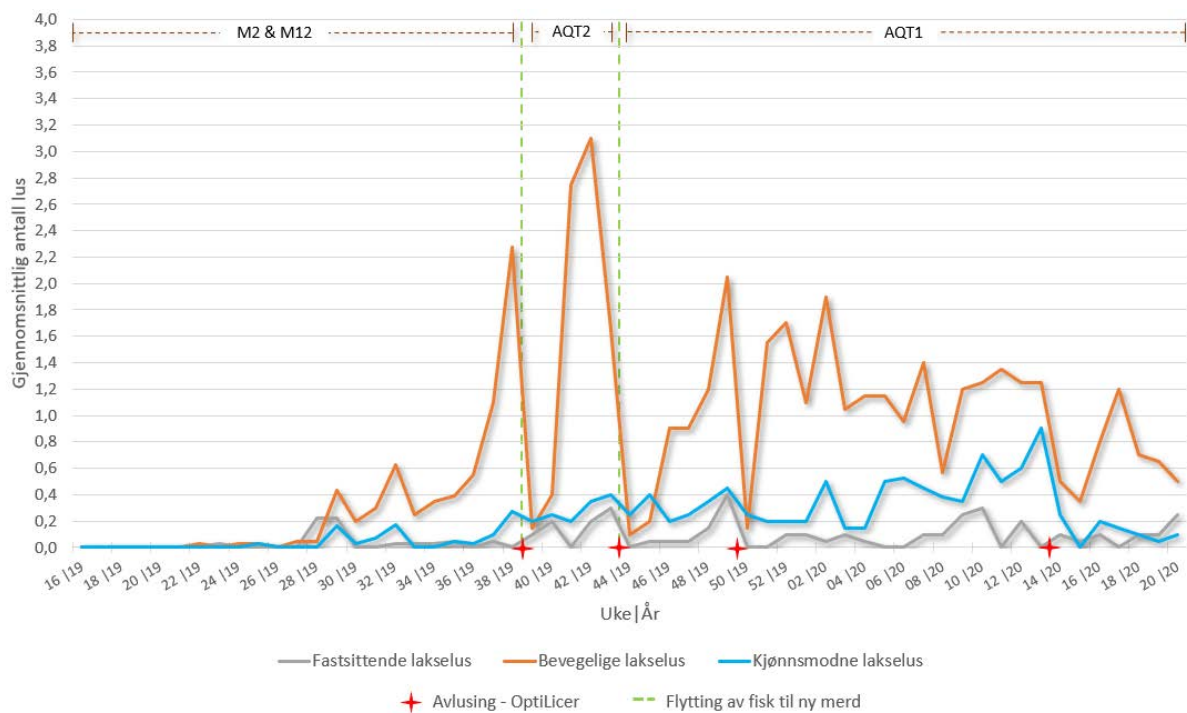
Tabell 4.3: Totalt antall lusebehandlinger per fiskegruppe.

Fiskegruppe	Teknologi	Antall behandlinger totalt
A	Aquatraz og konvensjonell	4
B (unntatt M6)	Aquatraz og konvensjonell	5
C	Aquatraz og konvensjonell	5
D	Konvensjonell	7
E	Konvensjonell	7

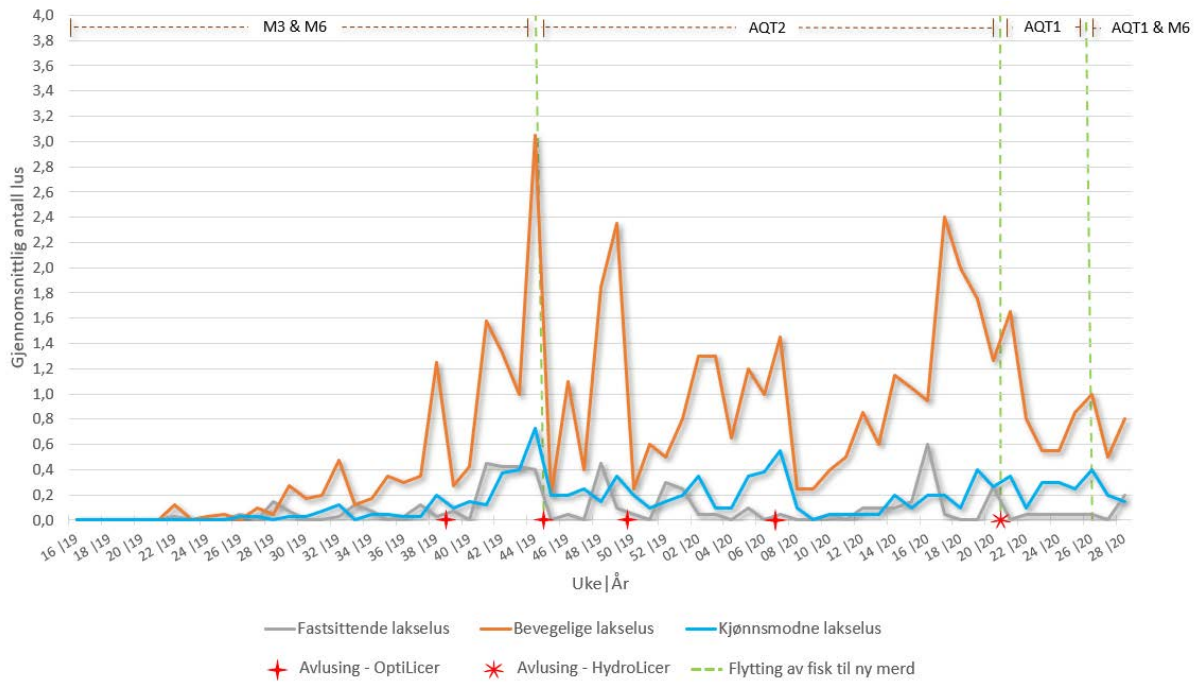
Til tross for at det har vært et betydelig høyere antall og en høyere tetthet av verter i Aquatrazmerdene enn i de konvensjonelle merdene, så har økningen av gjennomsnittlige lusetall gått saktere (figur 4.17-4.21). Dette tyder på at skjermingen har fungert bedre på Aquatrazmerdene enn de konvensjonelle merdene, og at vannutskiftingen i Aquatrazmerdene har forhindret en stor opphopning av luselarver inne i merdene.

Variierende lusetall og variierende effekt av avlusinger gir usikkerhet i tallene. Tendensen er likevel den samme i alle tre Aquatrazmerdene, og det er en helt annen utvikling enn i de to konvensjonelle merdene. Dette siste styrker konklusjonen om at de to systemene gir ulik luseutvikling. En svakhet ved datagrunnlaget er at man ikke har full kontroll på tidsrom hvor det har vært brukt luseskjørt på de konvensjonelle merdene. Dette har imidlertid vært brukt i den utstrekning Midt-Norsk Havbruk har ment at det var forsvarlig å bruke med hensyn til oksygenmetning og vanngjennomstrømming.

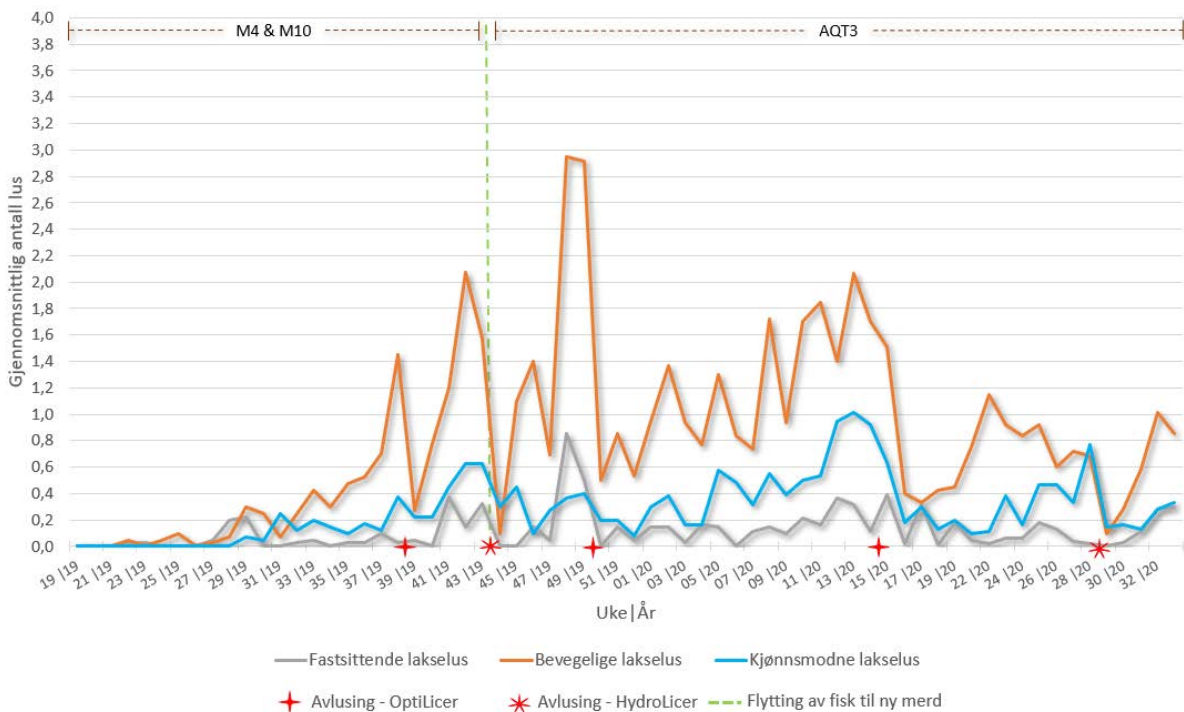
Man kan også legge til at noen behandlinger i Aquatrazmerdene har vært ønskelig å utføre tidligere enn de ble gjort, men mangel på egnet avlusingsutstyr ga forskyvning i behandlingstidspunkt. Dette gir en usikkerhet om man kunne klart seg med færre behandlinger eller om det ville blitt flere behandlinger dersom man hadde fått avluset til ønsket tidspunkt.



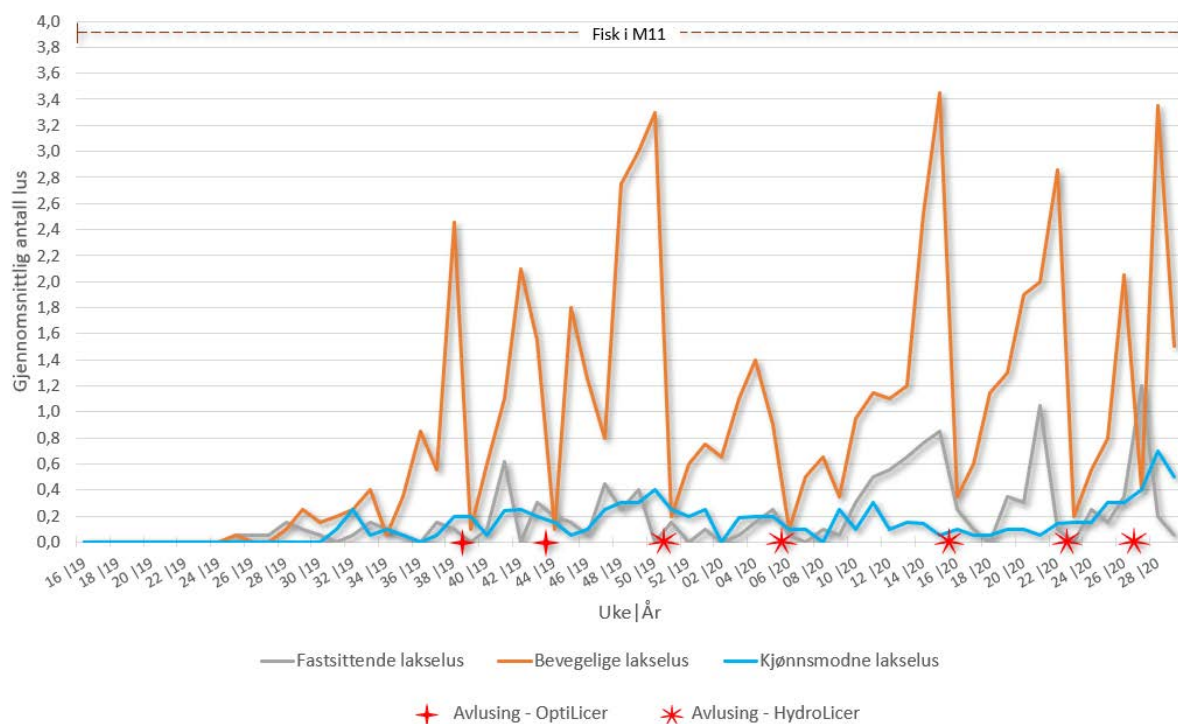
Figur 4.17: Luseutvikling, fiskegruppe A.



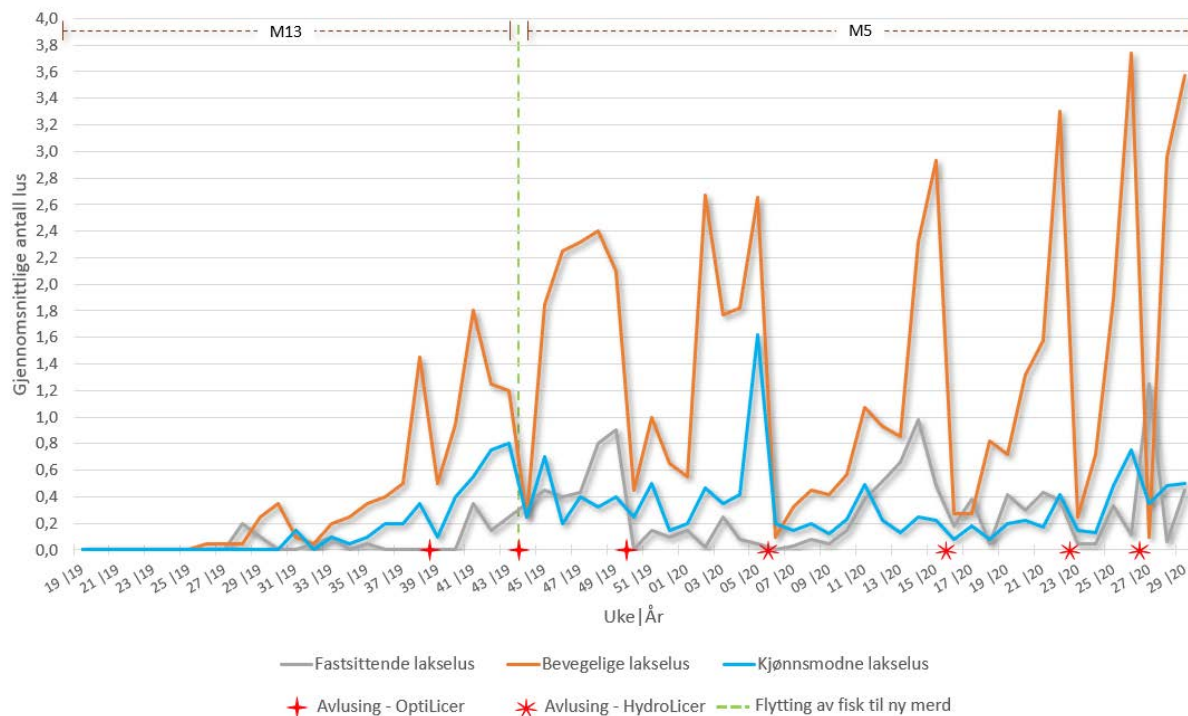
Figur 4.18: Luseutvikling, fiskegruppe B.



Figur 4.19: Luseutvikling, fiskegruppe C.



Figur 4.20: Luseutvikling, fiskegruppe D.



Figur 4.21: Luseutvikling, fiskegruppe E.

4.5. Helsekontroller

Det ble gjennomført helsekontroll på lokaliteten månedlig gjennom hele produksjonen. De viktigste funnene fra helsekontrollene er oppsummert her.

Hovedtrekkene var at helse- og velferdssituasjonen på lokaliteten var god til akseptabel den første delen av produksjonsperioden. Fra diagnosene pancreas disease (PD) og sår/ sårinfeksjoner ble påvist på vinteren ble helse- og velferdssituasjonen vurdert som moderat til god.

PD subtype SAV2 ble påvist i et nærliggende anlegg i september 2019, og ble først mistenkt på lokalitet Kyrøyene i midten av november 2019. PD er en alvorlig smittsom virus sykdom som kan gi store økonomiske tap i sjø, på grunn av dårlig tilvekst, taperfisk og redusert slaktekvalitet (Hjeltnes et al. 2018).

Merd 11 (konvensjonell merd) var den første med positiv påvisning av PD-viruset, resterende merder på lokaliteten ble fortløpende smittet, og i løpet av januar 2020 hadde alle merder i anlegget positive PCR-prøver for PD.

I desember ble det påvist sår, og sårbakteriene *Moritella viscosa* og *Tenacibaculum sp.* ble påvist på PCR-prøver. Lusetallene tilsa at fiskene likevel måtte avluses jevnlig for å være under den forskriftspålagte lusegrensen. Skader og sår i huden hos laks kan forårsake alvorlige konsekvenser, da hud er viktig både som osmotisk barriere og som en barriere mot ulike agens som befinner seg i vannet (Kryvi & Poppe, 2016). Sår og sårinfeksjoner er et stort problem i oppdrettsnæringen, særlig ved lave temperaturer. Blødninger og utvikling av små sår av varierende størrelse, kan raskt utvikle seg til åpne sår som perforerer inn til muskulaturen (Colquhoun et al. 2018). Sår utgjør en enkel innfallsport for sykdomsfremkallende organismer (Kryvi & Poppe, 2016). I tillegg er det et viktig dyrevelferdsproblem, da fiskene kan leve lenge med kroniske sår.

Man ser en økt forekomst av sår etter håndtering og avlusing ved kalde temperaturer. En tilleggsbelastning er tap av slimlag (Hjeltnes et al. 2018) noe som også er med på å redusere immunforsvaret og velferden til fiskene. En ikke ubetydelig andel fisk i AQT1 viste apatisk adferd i løpet av april 2020, noe som både kunne ha sin årsak i håndteringsskader og påfølgende sår, PD samt stress og belastning ved trenging og avlusing. Av fiskevelferdsmessige årsaker ble det derfor besluttet å slakte all fisken i denne merden på et tidligere tidspunkt enn hva som var planlagt.

Det ble også funnet flere andre agens, både agens som forårsaker gjellesykdommer og viruset (PRV) som forårsaker hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB). I tillegg var det innslag av kjønnsmodning og ryggdeformiteter i slutten av produksjonen.

4.6. Velferdsscore/ individkontroller

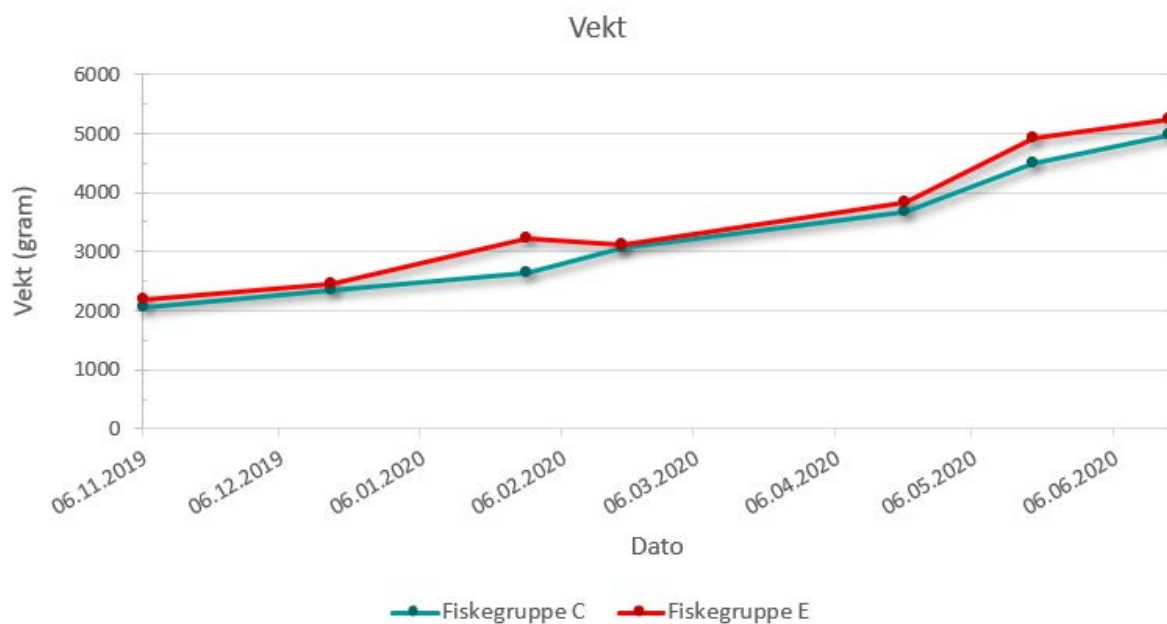
Vekt, lengde og noen utvalgte individbaserte operative velferdsindikatorer (OVI) etter Fishwell-standarden (Noble et al. 2018) ble målt på et så tilfeldig utvalg av individer som mulig, fra hver av fiskegruppene, på ulike tidspunkt gjennom produksjonen. Fiskegruppe C og E ble hyppigst fulgt opp, da disse inngikk i det ordinære biologiprogrammet med plan om månedlige målinger. Disse registreringene startet opp 6. november 2019 og ble deretter utført månedlig til og med juli 2020, med unntak av mars 2020 da covid-19-situasjonen gjorde at anlegget ikke tok imot besøk.

I juli 2020 ble det planlagt feil dato for målingen, og den siste fisken fra fiskegruppe E var da allerede på slakteriet. Det ble utført en individkontroll på nylig avlivet fisk på slakteriet, men det ble raskt

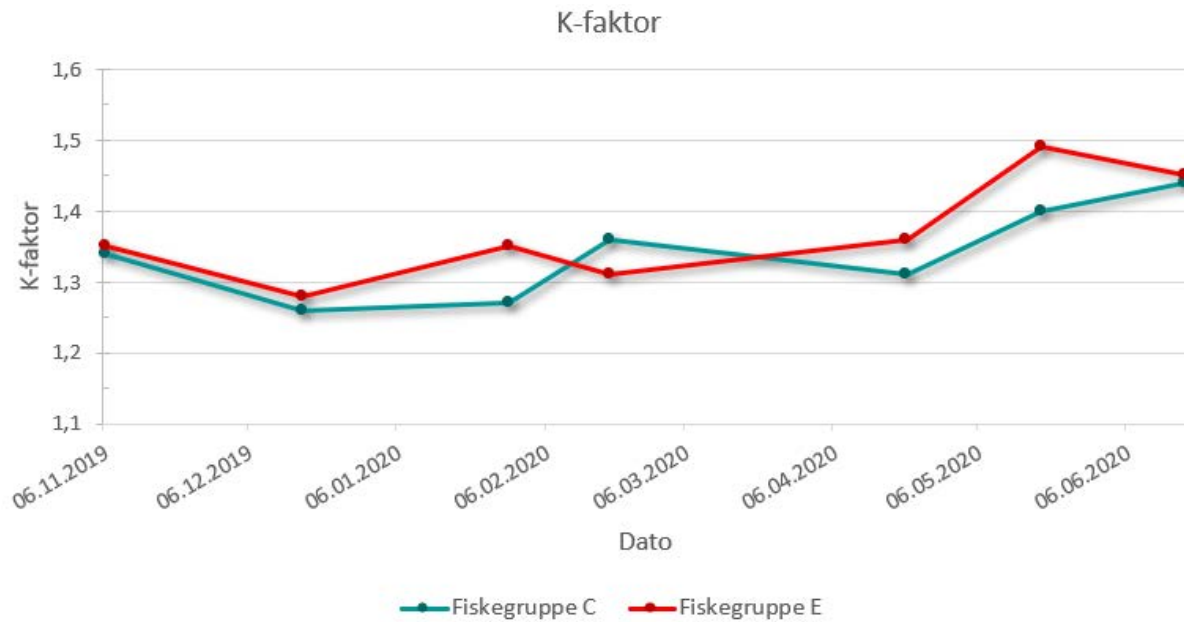
konkludert med at det gir et for avvikende bilde til at disse dataene kunne brukes. Av den grunn er målingen i juni den siste som er tatt med i grafene for disse gruppene.

Fiskegruppe A ble undersøkt på tilsvarende måte 22.04.2020 og 07.05.2020. Fiskegruppe B ble undersøkt 22.04.2020, 09.06.2020 og 07.07.2020. I henhold til planen som var lagt på forhånd skulle fisken undersøkes 0, 3 og 6 måneder etter utsett i Aquatrazmerd, og deretter ved slakt. På grunn av lusesituasjonen lå det an til flere avlusinger for disse gruppene, og det ble derfor besluttet å vente til etter vinteravlusingen med å ta første kontroll. Begrunnelsen for dette var at eventuelle avlusingsrelaterte skader ikke skulle gi et skjevt bilde av utviklingen. I ettertid ser man at dette kunne vært vurdert annerledes, da avlusinga like før jul i 2019 ikke fikk lusetallene langt nok ned, og det ble klart at det måtte til en ny avlusing på vinteren. Denne avlusingen ble utsatt i flere omganger, og ble utført først i uke 7/2020 på fisken i gruppe B og i uke 14/2020 for fisken i gruppe A. Fiskegruppe A ble så slaktet ut betydelig tidligere enn planlagt, slik at det kun ble to undersøkelser der med kort tid mellom. For alle undersøkelsene var det 39, 40 eller 41 fisk som ble vurdert per merd per tidspunkt.

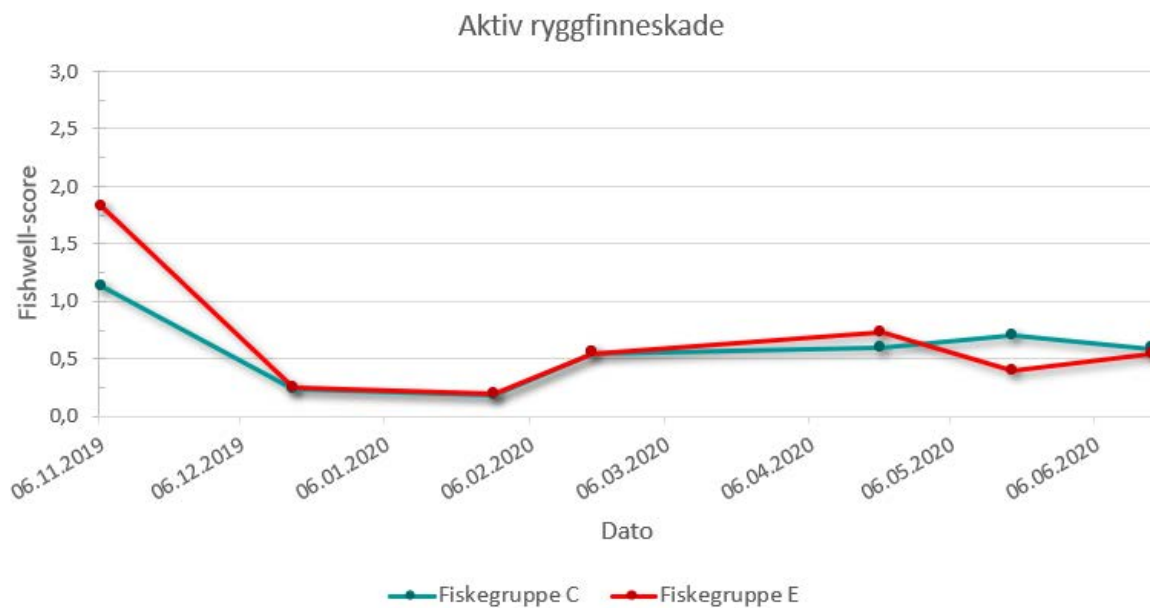
Generelt kan det bemerkes at det er gjort anmerkninger på velferdsscoreingene som er forenlig med skader relatert til håndtering/ avlusing, spesielt for skjelltap og hudblødninger ser man slike utslag. Videre er det noen utslag for sår. Ut over det er det stort sett anmerkninger som er lavgradige og som er på nivå med det man ser i konvensjonelt oppdrett. Noen utvalgte velferdsindikatorer som kan gi utslag ved høy tetthet (Oppedal et al. 2011) er angitt med gjennomsnittsverdier i figur 4.22 til og med 4.27.



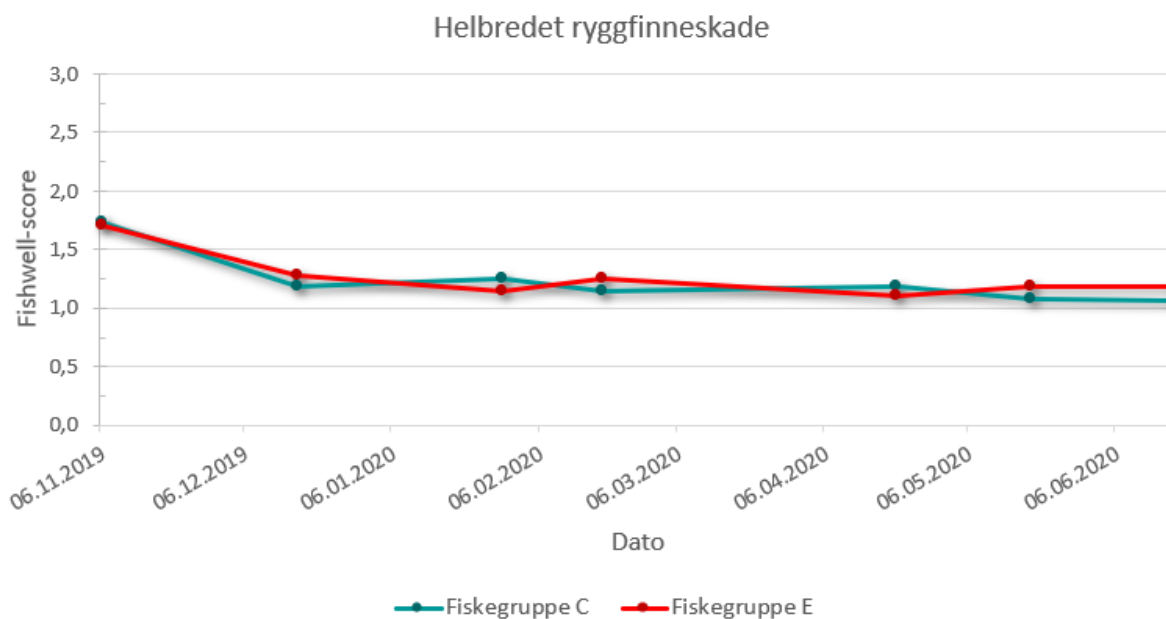
Figur 4.22: Gjennomsnittlig vekt registrert samtidig som OVI på gruppe C og E.



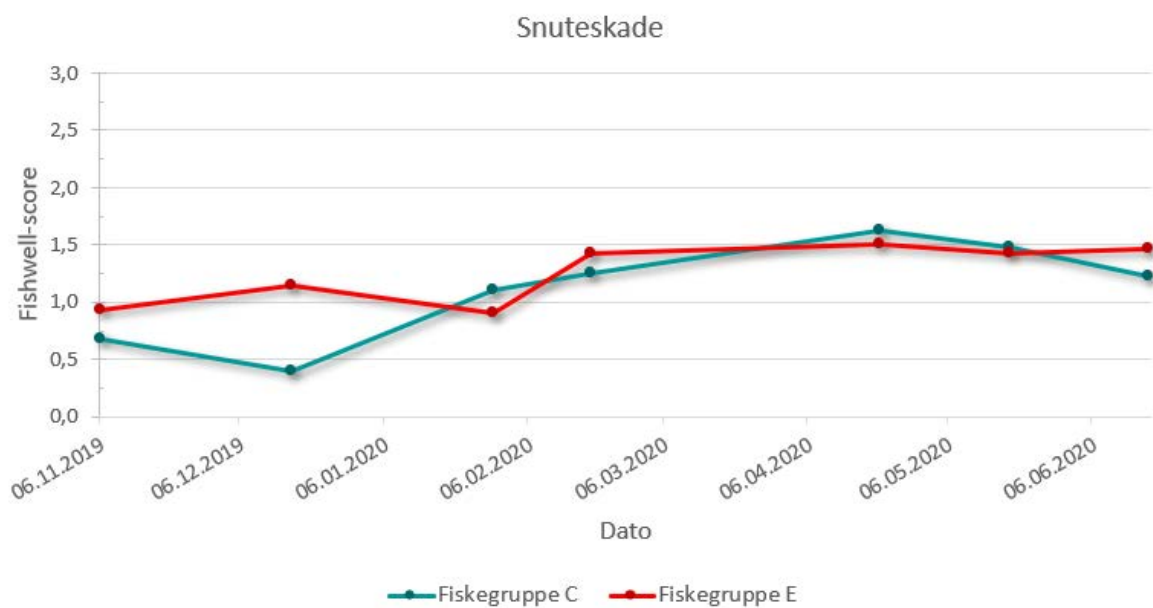
Figur 4.23: Gjennomsnittlig k-faktor beregnet fra vekt og lengde registrert samtidig som OVI på gruppe C og E.



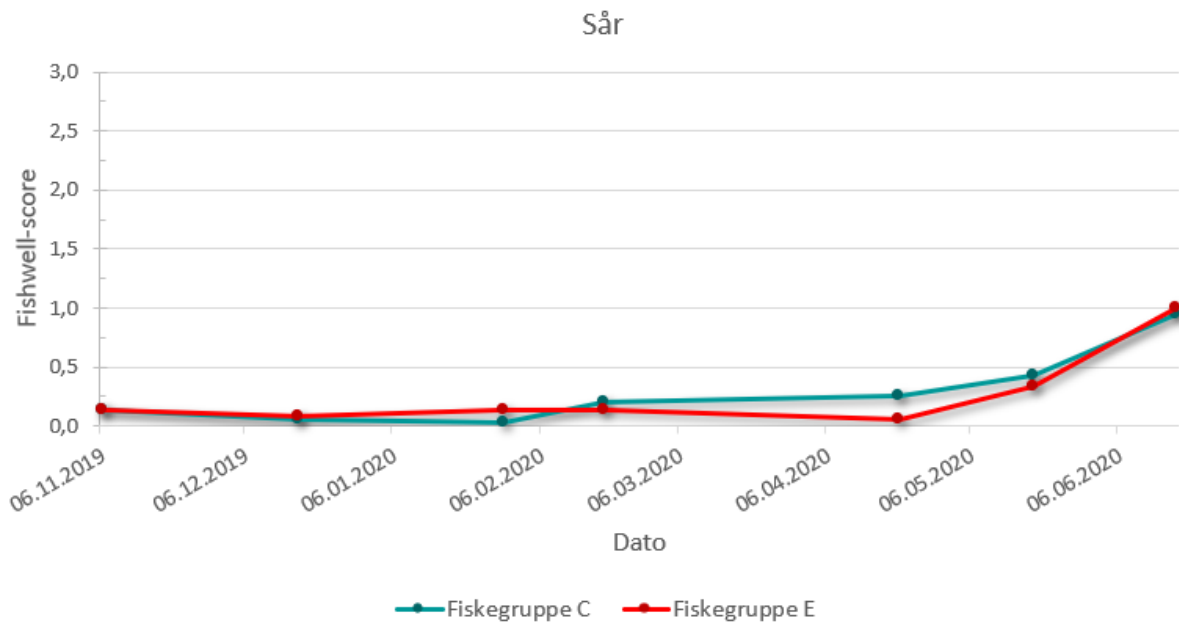
Figur 4.24: Gjennomsnittlig Fishwell-score for aktiv ryggfinneskade registrert som en OVI på gruppe C og E. Skala fra 0 (liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelse av denne VI) til 3 (omfattende/ alvorlig grad). Merk at håving av fisk for undersøkelsen kan gi skader på noen individer som klassifiseres som grad 1.



Figur 4.25: Gjennomsnittlig Fishwell-score for helbredet ryggfinneskade (avhelet) registrert som en OVI på gruppe C og E. Skala fra 0 (liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelse av denne VI) til 3 (omfattende/ alvorlig grad).



Figur 4.26: Gjennomsnittlig Fishwell-score for snuteskade registrert som en OVI på gruppe C og E. Skala fra 0 (liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelse av denne VI) til 3 (omfattende/ alvorlig grad).



Figur 4.27: Gjennomsnittlig Fishwell-score for sår registrert som en OVI på gruppe C og E. Skala fra 0 (liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelse av denne VI) til 3 (omfattende/ alvorlig grad).

Resterende undersøkelser er oppsummert i tabellform i kapittel 8, vedlegg.

Begynnende kjønnsmodning ble observert på 8 av 20 undersøkte fisk fra fiskegruppe C og fiskegruppe E allerede 18. juni 2020. Gruppe C ble undersøkt 27. juli 2020, da var 23 av 25 vurderte fisk i kjønnsmodning, og 4 av de 23 var hunnfisk i kjønnsmodning. Selv om utvalget av fisk mest sannsynlig ikke ble representativt for populasjonen i merden, tyder dette på at kjønnsmodningsprosessen var kommet langt på det tidspunktet.

Innslag av ryggdeformitet ble detektert utover i produksjonen. Denne fisken ble vaksinert mot PD før utsett, og det er mulig at noen av ryggdeformitetene kan være av den såkalte korsstingsvarianten. Denne typen deformiteter er assosiert med PD-vaksine, men det råder fortsatt betydelig usikkerhet rundt patogenesen og det er prosjekter som i skrivende stund pågår for å undersøke dette nærmere.

4.7. Slaktedata

Ved slakting blir all oppdrettslaks sortert i kvalitetsklasser. Den beste klassen er superior, i tillegg er det ved kvalitetssorteringen for fisken fra Kyrøyene tatt inn følgende andre kategorier: produksjon A, produksjon B, gulvfisk, vrak og feilskjær.

Ved slaktingen av fisken fra Kyrøyene ble en betydelig andel fra alle tre Aquatrazmerdene nedklasset fra superior til andre kvalitetsklasser, i hovedsak til produksjon A og produksjon B som vist i tabell 4.4.

For å dokumentere hvorfor fisk nedklasses benytter slakteriet såkalte hundrefiskkontroller hvor årsakene til nedklassing av hundre fisk registreres. På en normal slaktedag har slakteriet tre slike kontroller fordelt utover dagen.

Tabell 4.4: Oversikt over kvalitetssortering ved slakt for alle fiskegrupper. Alle andeler er % av antall fisk.

Fiskegruppe	Ant. fisk slaktet	Superior (%)	Produksjon A (%)	Produksjon B (%)	Gulvfisk (%)	Vrak (%)	Feilskjær (%)
Fiskegruppe A	311 307	72,31	26,77	0,14	0,22	0,24	0,33
Fiskegruppe B (AQT)	256 874	77,27	21,95	0,03	0,00	0,30	0,45
Fiskegruppe B (M6)	71 149	66,18	14,93	18,06	0,24	0,30	0,28
Fiskegruppe C	283 871	74,15	17,48	7,50	0,09	0,41	0,36
Fiskegruppe D	155 597	91,45	7,68	0,05	0,12	0,23	0,46
Fiskegruppe E	142 800	91,17	8,44	0,13	0,03	0,10	0,13

For alle fiskegruppene har det vært flere slaktedager, og oppsummert så ser det ut som at sår er den desidert viktigste årsaken til nedklassing i fiskegruppe A og fiskegruppe B, mens bildet i fiskegruppe C er mer sammensatt, se tabell 4.5. Alle fiskegrupper har et visst innslag av nedklassing grunnet deformiteter. Noe av dette kan være ryggdeformiteter av korsstingsvirvelvarianten som er assosiert med visse typer PD-vaksine.

Tabell 4.5: Oversikt over kvalitetssortering og årsaker til nedklassing på hundrefiskkontroller for alle fiskegrupper. Alle andeler er % av antall fisk.

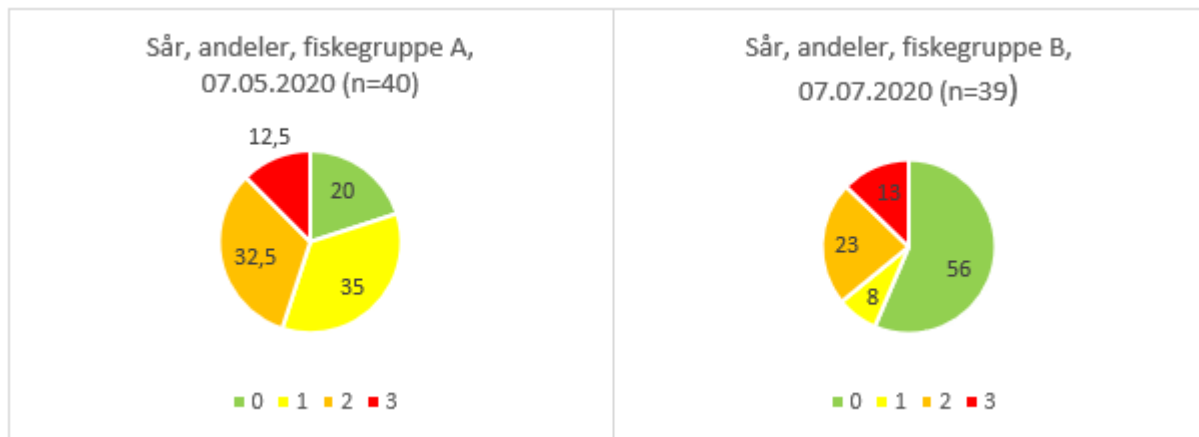
Fiskegruppe	Ant. fisk kontrollert	Superior (%)	Produksjon (%)	Sår / skade (%)	Vintersår (%)	Kjønnsmodning (%)	Feilskjær (%)	Deformert (%)	Annet (%)
Fiskegruppe A	2300	74,87	25,13	0,91	19,04	0	1,04	2,87	1,26
Fiskegruppe B (AQT)	1200	77,00	23,00	0	18,17	0	0,92	2,67	1,25
Fiskegruppe B (M6)	200	66,00	34,00	0	30,50	0	0	3,50	0
Fiskegruppe C	1700	75,35	24,65	0	9,00	4,24	0,71	4,41	6,29
Fiskegruppe D	900	89,67	10,33	0	3,00	0	2,00	3,78	1,56
Fiskegruppe E	900	89,44	10,56	0	2,89	0,22	0,56	6,33	0,56

For fiskegruppe C ble det slaktingen gjort i to omganger, noe som også ga utslag i lavere tetthet på slutten av produksjonen (figur 3.2). Her var det stor forskjell mellom resultatene fra hundrefiskkontrollene i juli og september (tabell 4.6), hvor sår var viktigste årsak til nedklassing i juli, mens kjønnsmodning var viktigste årsak i september. Det er flere mulige forklaringer til disse ulikhetene. Det er all grunn til å tro at det var betydelig høyere andel kjønnsmoden fisk som ble slaktet i september enn i juli. Dette støttes av de registreringene som er gjort i forbindelse med velferdsscoringer. Ved hundrefiskkontroll er det kun den viktigste årsaken til nedklassing som registreres. Noen sårisk kan derfor være gjemt blant de som er registrert som nedklasset på grunn av kjønnsmodning. Dette oppfattes som lite sannsynlig da det i stor grad er hannfisk hvor kjønnsmodning er et problem, og at man antar at sårisk er relativt likt fordelt mellom kjønnene. Ut fra dette burde man uansett sett et større utslag på sårisk. Kvalitetslederen ved slakteriet oppgir at det var en annen person som tok hundrefiskkontroller i september enn i juli, og at dette også kan forklare noe av forskjellene.

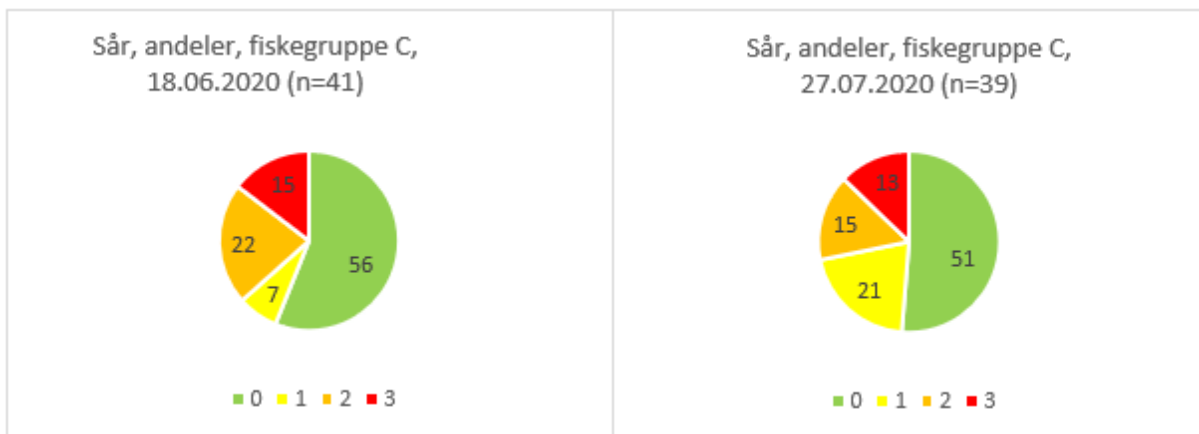
Tabell 4.6: Oversikt over kvalitetssortering og årsaker til nedklassing på hundrefiskkontroller for fiskegruppe C, oppdelt i den delen av fiskegruppen som ble slaktet i juli og den delen av fiskegruppen som ble slaktet i september. Den fisken som er sortert i kategorien «Annet» i september er oppgitt å være tidlig kjønnsmodning. Alle andeler er % av antall fisk.

Fiskegruppe	Ant. fisk kontrollert	Superior (%)	Produksjon (%)	Sår/skade (%)	Vintersår (%)	Kjønnsmodning (%)	Feilskjær (%)	Deformert (%)	Annet (%)
Fiskegruppe C (slaktet i juli)	800	76,00	24,00	0	18,25	0	1,00	3,50	1,25
Fiskegruppe C (slaktet i september)	900	74,78	25,22	0	0,78	8,00	0,44	5,22	10,78

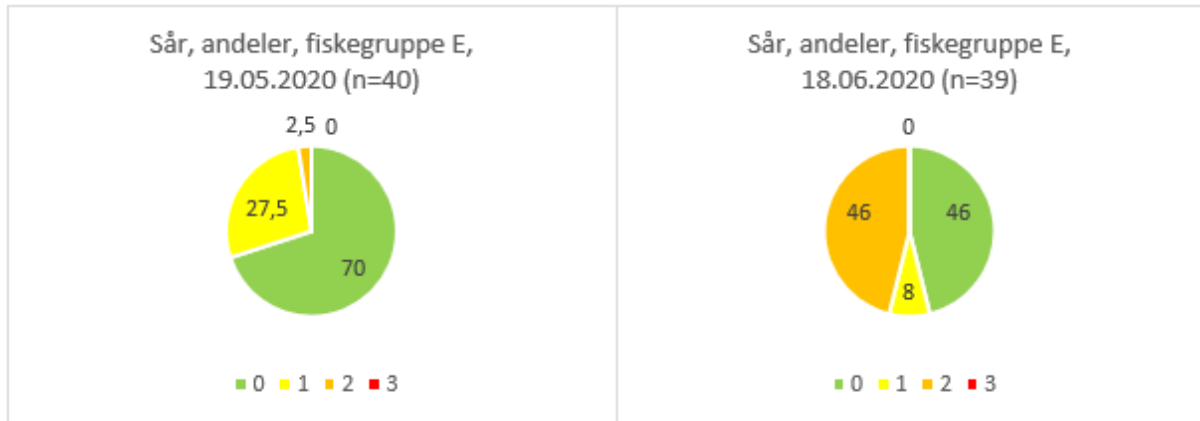
For å utfylle bildet fra hundrefiskkontrollene ble det sett nærmere på resultatene fra velferdsscoringene som ble gjort nærmest slaktingene. I tillegg til gjennomsnittlig score, er det sett på andeler av fisk innen de ulike score-verdiene (figur 4.28 til 4.32). Fokuset ble satt på indikatorene «sår» og «ryggdeformiteter», samt at anmerkninger til kjønnsmodningsstatus ved obduksjon ble gjennomgått.



Figur 4.28: Andeler på de ulike score-verdiene for indikatoren «sår» ved siste velferdsscore før slakting av fiskegruppe A til venstre og fiskegruppe B til høyre. Ved slakt av fiskegruppe A 12.-20.05.2020 viste hundrefiskkontroller at ca.20% av fisken ble nedklasset med sår/skade og vintersår som årsak. Ved slakting av fiskegruppe B 06.-10.07.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 18% av fisken ble nedklasset med vintersår som årsak.



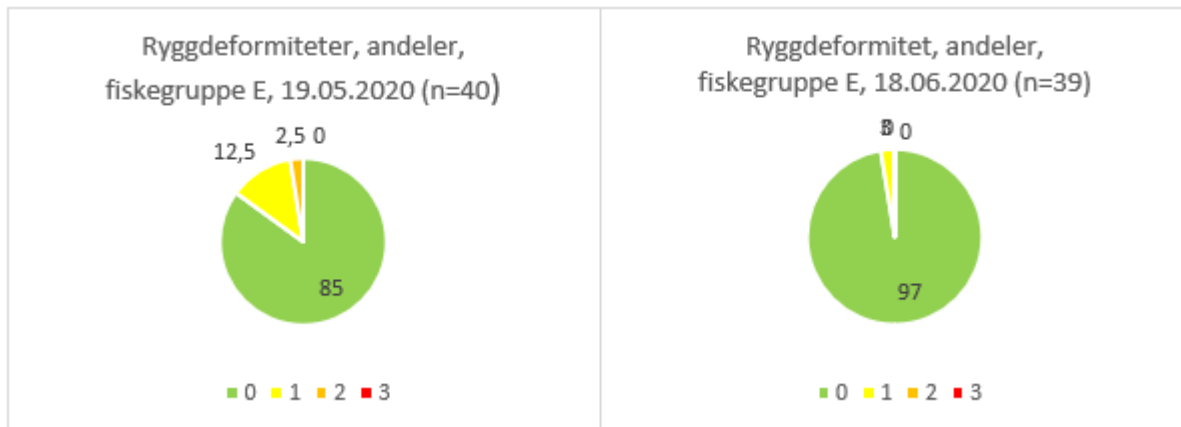
Figur 4.29: Andeler på de ulike score-verdiene for indikatoren «sår» ved siste velferdsscore før hhv første (til venstre) og siste (til høyre) slakting av fiskegruppe C. Ved slakt av fiskegruppe C 11.-14.07.2020 viste hundrefiskkontroller at ca.18% av fisken ble nedklasset med vintersår som årsak. Ved slakting av fiskegruppe C 01.-03.09.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 1% av fisken ble nedklasset med vintersår som årsak. Velferdsscore 27.07.2020 ble utført uka etter en mekanisk avlusing, og det var fortsatt over en måned igjen til det ble registrert 1% nedklassing med vintersår som årsak. Man kan forvente at en del sår som ble observert like etter avlusing var helt eller delvis avhelet på slaktetidspunktet.



Figur 4.30: Andeler på de ulike score-verdiene for indikatoren «sår» ved siste velferdsscore før hhv første (til venstre) og siste (til høyre) slakting av fiskegruppe E. Ved slakt av fiskegruppe E 02.06.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 4% av fisken ble nedklasset med vintersår som årsak. Ved slakting av fiskegruppe E 22.-23.07.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 2% av fisken ble nedklasset med vintersår som årsak..



Figur 4.31: Andeler på de ulike score-verdiene for indikatoren «ryggdeformitet» ved siste velferdsscore før hhv første (til venstre) og siste (til høyre) slakting av fiskegruppe C. Ved slakt av fiskegruppe C 11.-14.07.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 4% av fisken ble nedklasset med deformert som årsak. Ved slakting av fiskegruppe C 01.-03.09.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 5% av fisken ble nedklasset med deformert som årsak.



Figur 4.32: Andeler på de ulike score-verdiene for indikatoren «ryggdeformitet» ved siste velferdsscore før hhv første (til venstre) og siste (til høyre) slaktning av fiskegruppe E. Ved slakt av fiskegruppe E 02.06.2020 viste hundrefiskkontroller at ca.5% av fisken ble nedklasset med deformert som årsak. Ved slaktning av fiskegruppe E 22.-23.07.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 7% av fisken ble nedklasset med deformert som årsak.

Fishwell-standarden som brukes ved velferdsscoreing og sorteringskriteriene som brukes ved hundrefiskkontroller er ikke samsvarende. Det er nærliggende å tro at en score 3 på sår helt klart vil gi nedklassing, og at også noen fisker som faller inn under score 2 vil kunne bli nedklasset. For ryggdeformiteter er det nærliggende å tro at score 2 helt klart vil gi nedklassing, og at også noen individer innen score 1 vil kunne bli nedklasset. Slik sett er det relativt godt samsvar mellom det som er gjort av velferdsscoreing på sjøen og det bildet som tegner seg fra hundrefiskkontroller og kvalitetssortering.

Kjønnsmodning ble ikke vurdert sammen med de andre velferdsindikatorerne ved rutinemessig velferdsscoreing. På kontrollen som ble utført 18.06.2020 ble det imidlertid kommentert at 8 av 20 individer undersøkt fra fiskegruppe C og fiskegruppe E var hannfisk med begynnende fylling i gonader, fra blyanttykkelse til ca. 2 cm diameter. Ved kontrollen som ble gjort på gruppe C 27.07.2020 ble 23 av 25 undersøkte fisk anmerket til å være i kjønnsmodning, derav 4 hunnfisk. Hannfiskene hadde gonadiediameter fra 2 til 6 cm, mens hunnfiskene hadde ovariestørrelse om lag som en lever. Selv om adferden kan gjøre at fisk i kjønnsmodning blir overrepresentert i en prøveuttakssituasjon i en merd er dette et bilde som samsvarer med den utviklingen som vises i hundrefiskkontrollene i gruppe C for denne parameteren.

Ut fra slaktedataene spesielt for fiskegruppe A og B, men også for fiskegruppe C, er det ikke mulig å konkludere om den økte prevalensen av sår er forårsaket av økt fisketetthet sammenliknet med de konvensjonelle merdene, om det er forårsaket av ekstra håndtering eller av selve Aquatraz-teknologien. Så vidt vi vet finnes det ingen studier som støtter at tetthetene som er registrert i Aquatrazmerdene (maks. 29 kg/m³), kan forårsake sår. I et småskalastudium på velferd i semilukkede sjøanlegg, var det først på tettheter over 100 kg/m³ hvor man kunne detektere stress- og immunresponser i huden til postsmolt (Sveen et al. 2016). I et annet studium er det vist at høye tettheter (126 kg/m³) også har negativ effekt på sårhelingsprosessene hos postsmolt (Sveen et al. 2018).

Erfaringer fra settefiskproduksjon i sjøvann og tidlige forsøk med matfiskproduksjon i landbaserte gjennomstrømningsanlegg, har gjentatte ganger rapportert store problemer med sår, men årsaken har ofte vært diffus. Økt retensjonstid av vannet i lukkede anlegg sammenliknet med åpen merd, kan muligens føre til akkumulering av sår bakterier. En lukket merd har større overflateareal, og veggene i

tanken kan være gunstige for oppbygging av biofilm som kan fungere som et reservoar for sårframkallende bakterier. På et kommersielt semilukket anlegg er det funnet at de to dominerende bakteriegruppene i biofilmen på tankveggen var proteobakterier og bakteroideter (Rud et al. 2017). Begge disse gruppene inneholder bakterier som forårsaker sår, *Tenacibaculum spp.* tilhører bakteroideter mens *Moritella spp.* er proteobakterier. Ingen studier har hittil sett på forskjeller i bakterietetthet og bakteriesammensetning i semilukkede anlegg sammenlignet med konvensjonelle merder eller kvantifiserte spesifikke patogener som f.eks. *Moritella spp.* i vann og biofilm.

I det videre arbeidet med utvikling av merdkonseptet Aquatraz, vil det bli viktig å ha fokus på vannutskifting og eventuelt lære mer om bakteriesammensetning i biofilm og vann i Aquatraz sammenliknet med konvensjonelle merder.

4.8. Konklusjon

Dødelighet og dødelighetsårsaker som registrert i dette materialet gir ikke holdepunkter for at tetthet over 25 kg/m³ gir risiko for øket dødelighet eller spesielle dødelighetsårsaker.

Tilveksthastighet og førfaktor er varierende, og gir ikke noe ensartet bilde. I denne undersøkelsen er det ikke holdepunkter for at tetthet over 25 kg/m³ gir risiko for lavere tilveksthastighet eller økt førfaktor.

Aquatrazmerder med 8 meter stålskjørt og aktiv vannutskifting ser ut til å gi en viss beskyttelse mot lusepåslag, men ikke tilstrekkelig til å unngå avlusing.

Helsekontroller viser en del faktorer som har bidratt til støy i datamaterialet, som PD, lusebehandlinger, gjelleutfordringer og kjønnsmodning. Det er ingen funn fra helsekontroller som gir klare indikasjoner på at økt tetthet i seg selv har forårsaket anmerkninger. En liten usikkerhet ligger i om tettheten har bidratt til en høyere prevalens eller økt alvorlighetsgrad av sår eller PD, men det foreligger ingen klare indikasjoner på at dette er tilfelle.

Velferdsscore/ individkontroller sammenholdt med slaktedata viser at det er en del merknader på sår, spesielt i fiskegruppe A og fiskegruppe B. Også i fiskegruppe C er det noen utslag for sår, spesielt før delslakt ble utført. Det kan være at en del sår blant fisken som har stått i Aquatrazmerder kan skyldes dobbel håndtering i forbindelse med avlusinger, men det kan også være at en ikke optimal vannutskifting i Aquatrazmerdene har gitt øket smittepress av sårbakterier. Effektiv vannutskifting bør derfor vektlegges ytterligere under utviklingen av neste generasjon Aquatrazmerder.

5. Vannkvalitet

5.1. Formål og bakgrunn

Formålet med denne delen av måleprogrammet er å dokumentere vannkvaliteten ved økende fisketetthet i Aquatrazmerdene. For å kunne øke fisketettheten trygt i semilukkede oppdrettssystemer i sjø er det avgjørende å kunne justere og optimalisere vannkvaliteten i forhold til den økte biomassen. Uten tilfredsstillende vannutskiftning vil effekten av redusert vannkvalitet kunne bidra til lavere tilvekst og redusert velferd. Tilgangen til løst oksygen (O_2) vil være den første vannkvalitetsfaktoren som begrenser en økning i biomasse. Fokuset før oppstart har derfor vært å optimalisere den aktive vannutskiftningen i Aquatrazmerdene, ved å øke antall strømsettere fra to til fire og å øke deres kapasitet (se kapittel 6).

Med automatisk online logging av O_2 koblet til alarmsystemer har tiltak raskt kunne iverksettes ved lave verdier. Videre har dette gitt et stort datagrunnlag for dokumentasjon av O_2 ved ulike miljøbetingelser og faser i produksjonen. I tillegg har ukentlige hydrografiske målinger gitt innsikt i oksygenverdiene i ulike dyp og på forskjellige posisjoner i Aquatrazmerdene.

I lukkede eller semilukkede systemer kan økt tetthet også lede til akkumulering av metabolittene karbondioksid (CO_2), ammoniakk og en økning i konsentrasjonen av suspenderte partikler. Dette har derfor blitt overvåket ved tettheter over 25 kg/m^3 .

I sjøvann er en økning av partikler og organisk materiale i hovedsak negativt fordi det gir næring og fører til mikrobiell vekst, noe som kan være spesielt gunstig for patogene mikroorganismer. En høy turbiditet og et høyt partikkelinnhold kan også redusere synligheten til fôret, og partikler kan potensielt tette og skade gjellevev (Redding et al. 1987; Kim et al. 2013).

5.2. Metode

Oksygen og temperatur har vært overvåket i sanntid ved hjelp av fastmonterte sensorer i tilstrømmende vann, i KTR, AQT1, AQT2 og AQT3 på 5 m dyp. Sensorene har vært online og parameterne har blitt logget hvert 10. minutt. Data fra perioder med tydelig driftsfeil i en eller flere sensorer har blitt fjernet. Erfaring fra det første biologiprogrammet er at ved driftsfeil i sensoren eller når sonden trenger rengjøring, så viser sensoren en falsk overmetning av oksygen. Vi har derfor benyttet en cut-off på 105% oksygenmetning, og alle verdier over 105 % er fjernet.

Det er ukentlig utført hydrografiske målinger ved hjelp av en CTDO på 12 ulike stasjoner. Målingene ble utført av personell på lokaliteten Kyrøyene. CTDO gir vertikalprofiler av tetthet, salinitet, temperatur, oksygenmetning og oksygenkonsentrasjon. I dette dokumentet er det fokusert på oksygenmetning på stasjonene i AQT1, AQT3, og KTR. En fullstendig resultatrapport for de hydrografiske målingene vil bli gitt i sluttrapporten for biologiprogram 2. Protokoll for utførelsen og grafer er laget av Aqua Kompetanse AS.

Vannkvalitetsparameterne pH, alkalitet, CO_2 , total ammonium nitrogen (TAN), total organisk karbon (TOC) og total suspendert stoff (TSS) ble analysert på lab. Vannprøver for analyse av disse parameterne ble tatt med vannhenter fra 7 m dyp i AQT1, AQT2 og AQT3. Prøver ble tatt ved oppstart og annenhver uke etter at tettheten overskred 25 kg/m^3 . Analysene ble utført av NIVA og Eurofins Environment Testing Norway AS i henhold til akkrediterte metoder.

Tabell 5.1: Måleprogram vannkvalitet ved tetthet >25 kg/m³.

Parameter	Målefrekvens	Metode	Veiledende verdi
Oksygen	Daglig	Online sensor måler og logger hvert 10. min. (figur 5.6). CTDO ukentlig (figur 5.2-5.5).	>80%
Temperatur	Daglig	Online sensor måler og logger hvert 10. min. (figur 5.6). CTDO ukentlig (figur 5.2-5.5).	
Salinitet	Daglig	Online sensor måler og logger hvert 10. min. (figur 5.6). CTDO ukentlig (figur 5.2-5.5).	
pH	Ved oppstart og annenhver uke etter at tettheten overskrider 25 kg/m ³	Prøver analysert på lab	
CO ₂	Ved oppstart og annenhver uke etter at tettheten overskrider 25 kg/m ³	Prøver analysert på lab	<12 mg/L fritt CO ₂
TAN (Ammoniakk beregnes fra TAN, pH, salinitet og temperatur)	Ved oppstart og annenhver uke etter at tettheten overskrider 25 kg/m ³	Prøver analysert på lab	<3 µg/L NH ₃ -N
TSS	Ved oppstart og annenhver uke etter at tettheten overskrider 25 kg/m ³	Prøver analysert på lab	<10 mg/L
TOC	Ved oppstart og annenhver uke etter at tettheten overskrider 25 kg/m ³	Prøver analysert på lab	<10 mg /L

5.3. Resultater

Oksygen

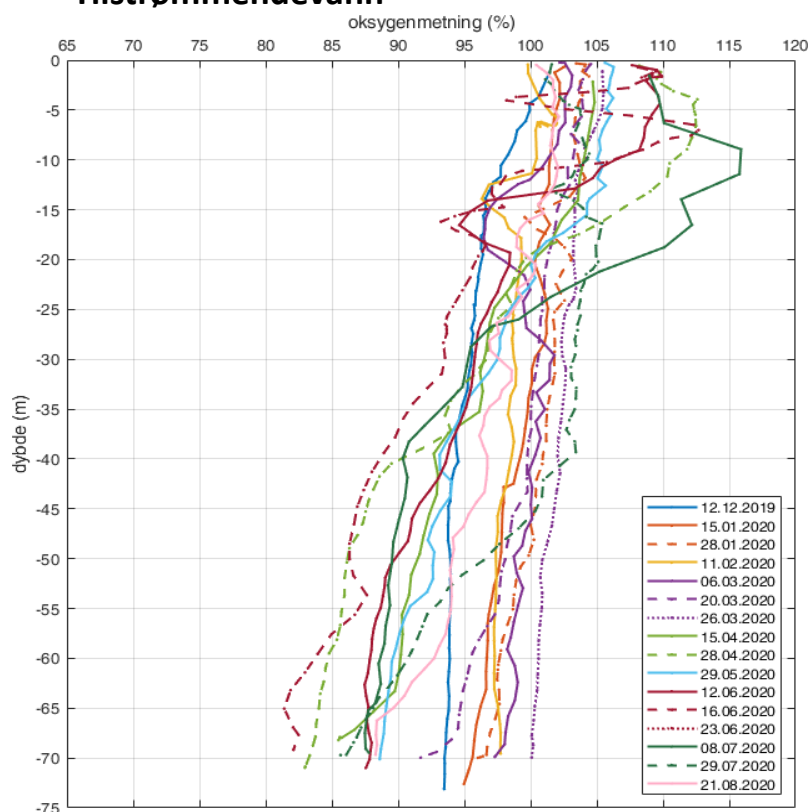
CTDO-profiler

De hydrografiske målingene på lokaliteten viser at oksygenkonsentrasjonen var gjennomgående høy (>80% metning) og relativt stabil med dypet på samtlige prøvetakingsstasjoner, og ved de fleste av prøvetakingstilfellene (figur 5.2-5.5). Ved de tilfellene fisketettheten var over 25 kg/m^3 (markert i figurene med rød pil) viser O_2 -profilene ingen systematisk nedgang i O_2 -konsentrasjon eller økt variasjon i O_2 i noen av AQT-merdene. De hydrografiske målingene gir en god indikasjon på hvilket dyp vanninnstrømningen er i KTR versus Aquatrazmerdene. For parameterne temperatur, salinitet (ikke vist) og O_2 så likner profilen i KTR (figur 5.3) de øvre 20 meter av profilen fra det tilstrømmende vannet (figur 5.2). De øvre lukkede delene i Aquatrazmerdene (figur 5.4 og figur 5.5) viser derimot en større likhet med det tilstrømmende vannet fra 20-30 meters dyp, hvilket indikerer at det er dypere vann med en mer stabil temperatur og oksygenkonsentrasjon og høyere salinitet. Den 21.08.2020 var oksygenkonsentrasjonen lavere i AQT3 sammenlignet med øvrige prøvetakingstilfeller, spesielt over og under merdvinduet, dette skyldes antakeligvis begroing på merden (se figur 5.1) og ikke økt biomasse/ tetthet siden utslakt allerede hadde begynt og tettheten var kun 15 kg/m^3 .



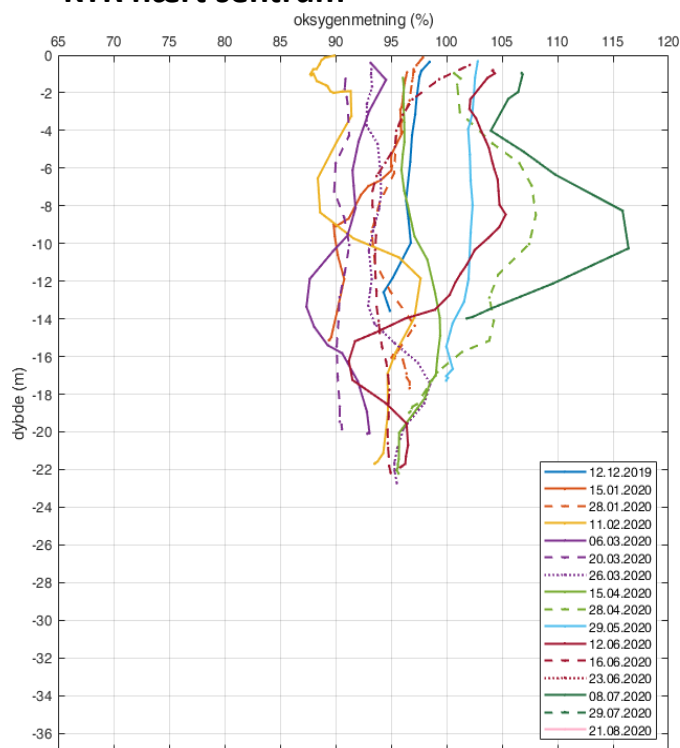
Figur 5.1: Begroing på AQT3

Tilstrømmende vann

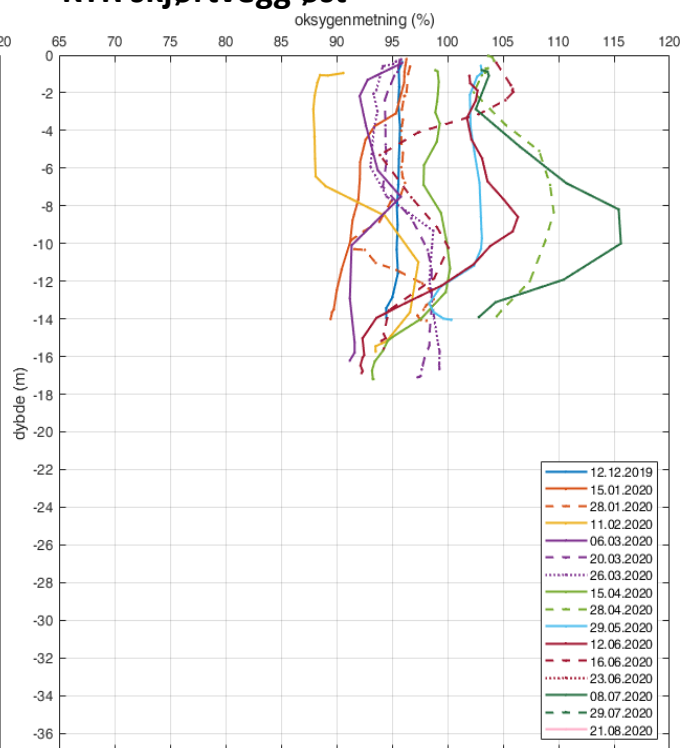


Figur 5.2: Oksygenmetning (%) i tilstrømmende vann. De hydrografiske målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

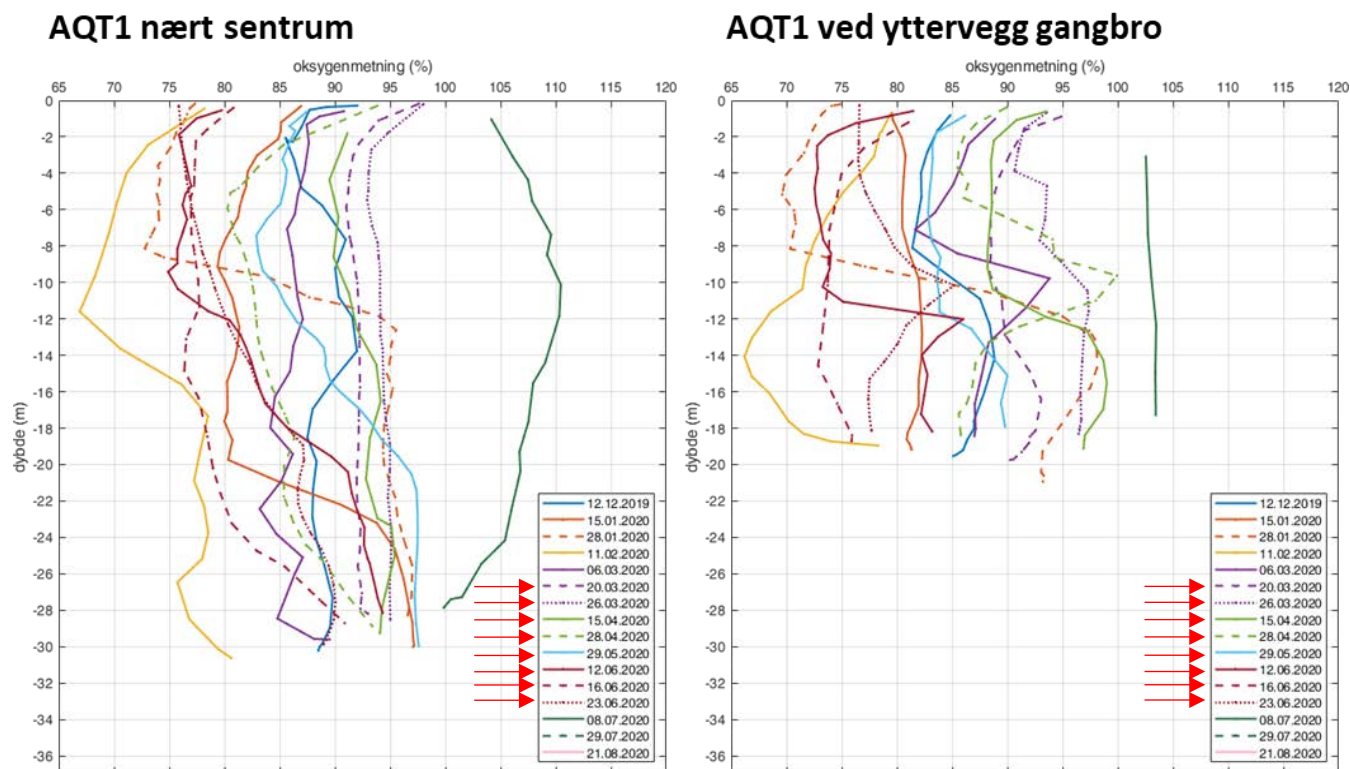
KTR nært sentrum



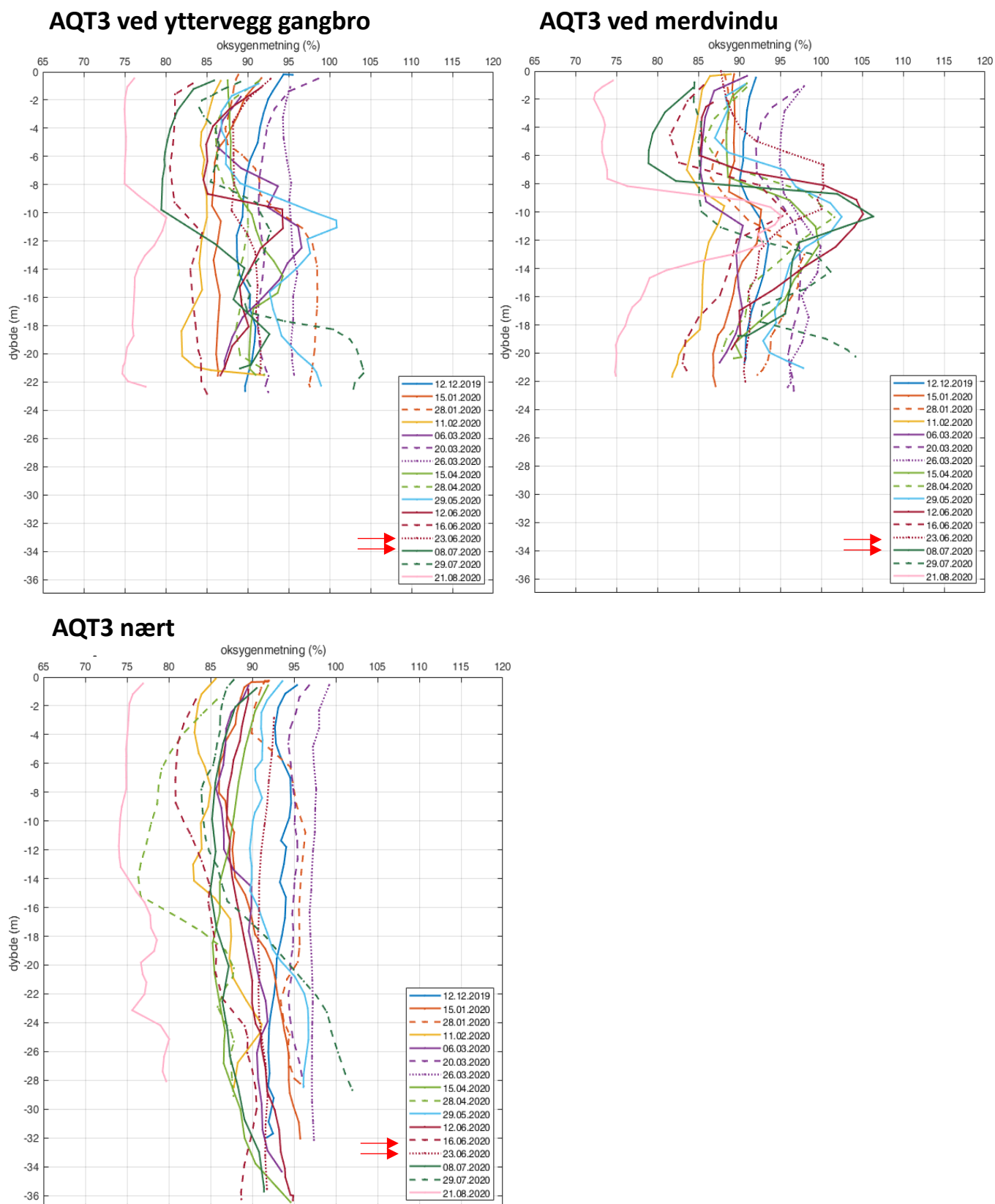
KTR skjørtvegg øst



Figur 5.3: Oksygenmetning (%) i KTR (M5: nært sentrum og skjørtvegg øst). De hydrografiske målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



Figur 5.4: Oksygenmetning (%) i AQT1-stasjonene (yttervegg gangbro, merdvinde og nært sentrum). De hydrografiske målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Rød pil indikerer dato med en fisketetthet på 25 kg/m³ eller mer.



Figur 5.5: Oksygenmetning (%) i AQT3-stasjonene (yttervegg gangbro, merdvindu og nært sentrum). De hydrografiske målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Rød pil indikerer dato med en fisketetthet på 25 kg/m³ eller mer.

Fastmonterte O₂-sensorer

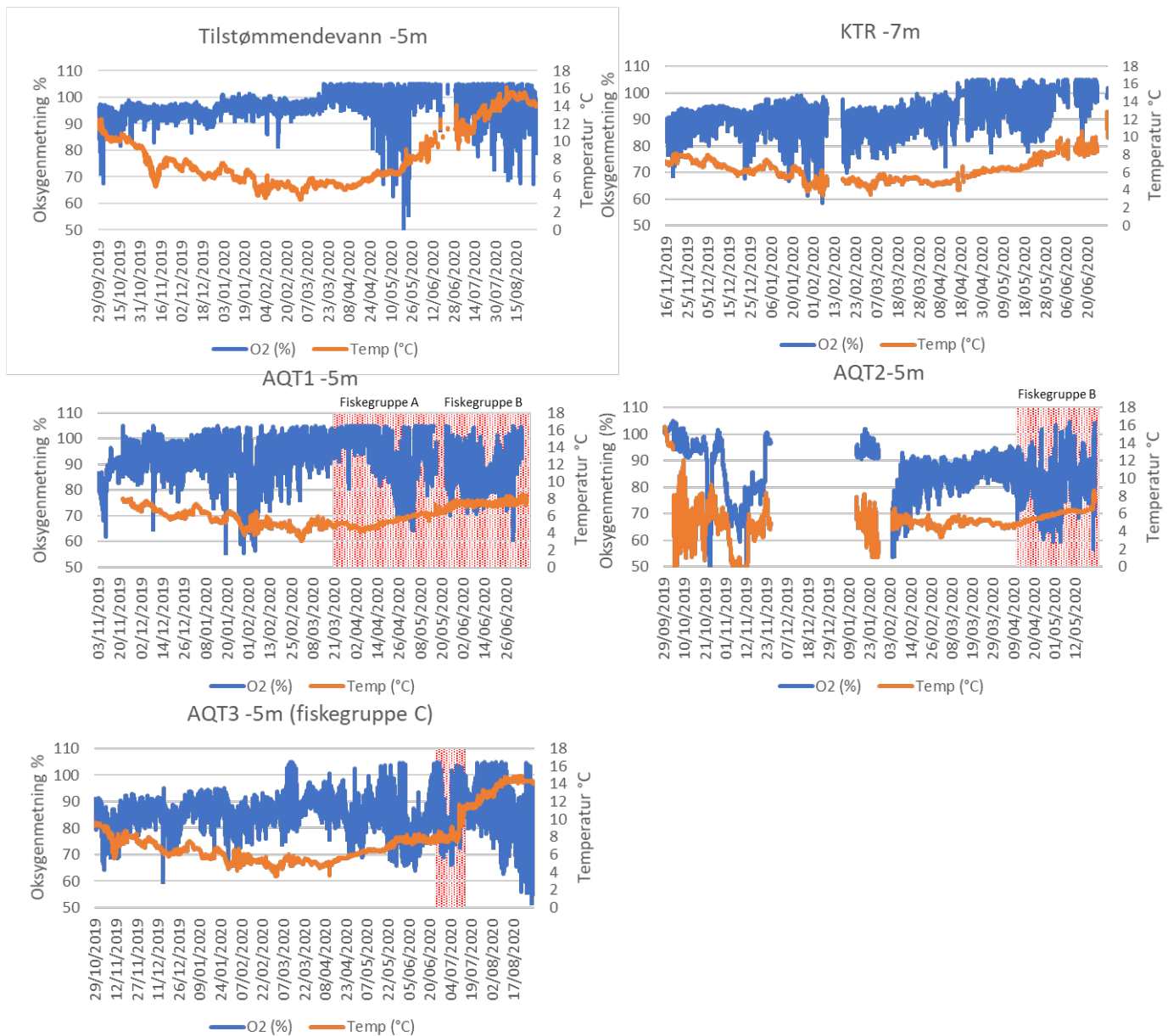
I tillegg til å varsle om endringer i oksygennivå i sanntid, har de fastmonterte sensorene i merdene logget O₂-konsentrasjonen hvert 10. minutt. Dette har gitt et stort datagrunnlag egnet til å evaluere produksjonsmiljøet over tid. Det bør imidlertid noteres at O₂, i motsetning til temperatur og salinitet, er svært vanskelig å måle nøyaktig med fastmonterte sensorer i sjøvann og drift i sensoren er dessverre vanlig.

Eksterne faktorer slik som fôrpartikler, avføring og groe på sensoren kan påvirke membranens permeabilitet, i tillegg skaper groe-organismenes respirasjon et mikromiljø rundt sensoren med lavere oksygen enn det som er realiteten. Vi har ekskludert høye verdier på over 105% som ofte korrelerer med økt temperatur (se avsnitt 5.2), som tydelig viser at sensoren er ute av drift. Vanskeligere er det å bedømme om lave O₂-verdier er reelle eller oppstår på grunn av groe eller andre faktorer som påvirker sensormembranens permeabilitet. Det er derfor ikke grunnlag for å sette noen nedre cut-off for lave verdier. Det er dermed sannsynlig at resultatene fra samtlige målte stasjoner viser en større variasjon og en del plutselige dropp i O₂ (under 60% metning) (figur 5.6) som ikke gjenspeiler virkeligheten. For å få en mest mulig korrekt forståelse av oksygenmiljøet og variasjonen i O₂-tilgang som fisken opplevde er det derfor valgt ut kortere perioder der en vet at sensorene fungerte og biomassen var høy (indikert med skravert område i figur 5.6). I tillegg er den gjennomsnittlige døgnvariasjonen av O₂ analysert. (figur 5.7)

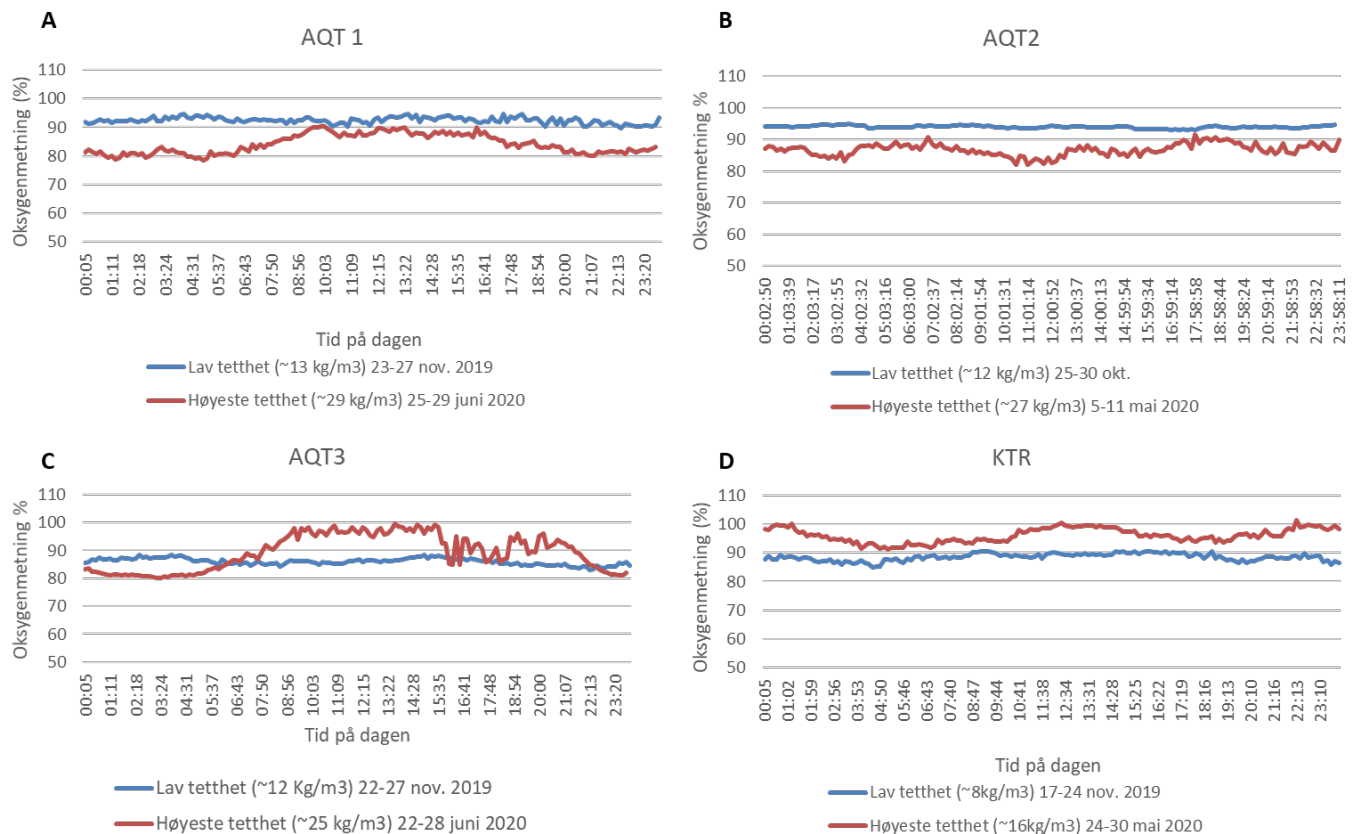
I perioden med tettheter over 25 kg/m³ (tall fra produksjonsstyringssystemet Fishtalk) så var gjennomsnittlig oksygenmetning på henholdsvis 91±9 %, 80±8 %, og 81±6 % i AQT1, AQT2 og AQT3. Oksygenforbruket er et indirekte mål på energiforbruket (fiskens metabolisme), og påvirkes av en rekke faktorer som fôringsstatus, fiskestørrelse, vanntemperatur, svømmehastighet m.m. (se sammenstilling i Thorarensen et al. 2011).

I oppdrettssystemer med periodisert fôring (dagtid) vil O₂ forbruket sannsynligvis øke utøver dagen/kvelden med fôringsaktivitet og metabolske prosesser, for å siden synke igjen fram mot morgenen til fôring starter igjen. I tillegg vil den øvrige biologiske aktiviteten i sjøen påvirke O₂ nivået i merdene, slik som algenes fotosyntese om dagen og nedbrytning/ respirasjon av alger og biologisk materiale om natten.

I AQT1 og AQT2 var O₂-nivået som forventet noe lavere gjennom hele døgnet ved høy tetthet sammenlignet med lav tetthet, men denne variasjonen i O₂ var liten og konsentrasjonen var stort sett over 80%. I AQT1 (ved høy tetthet; sommer) var det en liten nedgang i O₂ mellom midnatt og klokken 06, dette kan skyldes mindre fotosyntese og økt respirasjon/nedbrytning av alger (figur 5.7A). I AQT3 var det et lite dropp nattetid når tettheten var >25 kg/m³, men på dagtid var faktisk O₂-metningen høyere ved høy tetthet sammenlignet med når tettheten var lavere (figur 5.7 C). Den høyere O₂-konsentrasjonen kan trolig forklares av at stort sett alle fire strømsettere var mer gjennomgående i bruk våren/ sommeren 2020 sammenlignet med november 2019 (se kapittel 6). I sin helhet viser sensordataene at ved fisketettheter over 25 kg/m³ har man i samtlige av AQT-merdene klart å opprettholde en god vannutskiftning og godt oksygenmiljø for fisken og unngått store døgnvariasjoner som kan føre til stress.



Figur 5.6: Oksygenmetning (%) målingene fra fast monterte O₂-sensorer på 5 m dyp (7 m dyp KTR) på stasjonene tilstrømmende vann, KTR, AQT1, AQT og AQT3 på lokaliteten Kyrøyene. Skravert område markerer perioden med tetthet over 25 kg/m³.



Figur 5.7: Den gjennomsnittlige døgnvariasjonen i oksygenmetning (%). Blå linje er ved oppstart (lav fisketetthet) og rød linje er ved den høyeste tettheten i A) AQT1 B) AQT2 C) AQT3 og D) KTR.

Vannkjemiske analyser

Resultatene fra vannkjemianalysene viser en god vannkvalitet med lave nivåer av fritt CO₂ og total ammonium nitrogen gjennom hele analyseperioden for samtlige grupper (tabell 5.2, 5.3 og 5.4). CO₂ var svært lav (maks 1,3 mg/L) og det var ingen tendens til økning av CO₂-konsentrasjonen i takt med økt biomasse i noen av fiskegruppene (figur 5.8). Det var heller ingen tendenser til økt TAN med økt tetthet, og andel nitrogen i giftig form (ammoniakk NH₃-N) var svært lav (mindre enn 0,7 µg N/L; figur 5.9).

At vannutskiftningen var tilfredsstillende støttes av at det ikke var noen trender som indikerer en økt partikkelbelastning med økt tetthet. Turbiditeten var lav og TSS var stort sett rundt den nedre deteksjonsgrensen på 2 mg/L for alle grupper ved samtlige uttak, unntatt den 27.mai 2020 da TSS var noe høy i gruppe B (14,5 mg/L).

Den 21. nov, 22. nov, 19.mars, 15. april og 28. april (markert i gult i tabell 5.2, 5.3 og 5.4) var TOC-verdiene veldig mye høyere enn det vi tidligere har erfart for vannprøver fra sjølokaliteter. Nedbrytning av eller pågående mikroalgeoppblomstring kan føre til høye TOC verdier, men algeprøver som ble tatt i AQT3 omtrent samtidig støtter ikke at TOC skyldes høy algebiomasse. Vi har ikke vært i stand til å finne kilden til karbon i disse prøvene, men tror de høye verdiene enten skyldes forurensning av prøven ved transport eller på lab, videre indikerer den lave turbiditeten og TSS at dette i hvert fall ikke er organiske partikler av den størrelsen som kan tilstoppe gjellene. Totalt sett viser resultatene at den passive og aktive vannutskiftningen er tilstrekkelig for å opprettholde en god

vannkvalitet ved økende fisketetthet og vannkvaliteten i AQT1, AQT2 og AQT3 regnes som meget god og stabil.

Tabell 5.2: Resultat vannkjemiske analyser fiskegruppe A

Dato	AQTmerd	Tetthet (kg/m ³)	Temperatur (målt på anlegget) °C	Salinitet (ppt)	pH (Eurofins 21 °C)	pH (temp. korrigert)	Alkalitet (mmol/L)	Turbiditet (FNU)	TSS (mg/L)	Totalt organisk karbon (TOC; mg C/L)	CO ₂ (mg/L)	TAN (µg N/L)	Ammoniakk (µg N/L) **
10.10.2019	AQT2	11,8	10,6	31,8	7,9	8,1	2,1	0,31	2,0	2,1	0,9	51,0	0,6
21.11.2019	AQT1	15,4	4,5*	34,7	8	8,3	2,12	0,28	<2	4110	0,8	11	0,13
19.03.2020	AQT1	25,1	7	33,3	7,9	8,1	2,11	0,27	2,4	>20000	1,0	*	
15.04.2020	AQT1	26,7	5	33,3	7,9	8,2	2,18	0,25	<2	2630	1,1	<3	<0,03
28.04.2020	AQT1	27,4	5,8	33,5	7,9	8,1	2,12	0,41	<2	13500	1,1	110	0,11

Tabell 5.3: Resultat vannkjemiske analyser fiskegruppe B

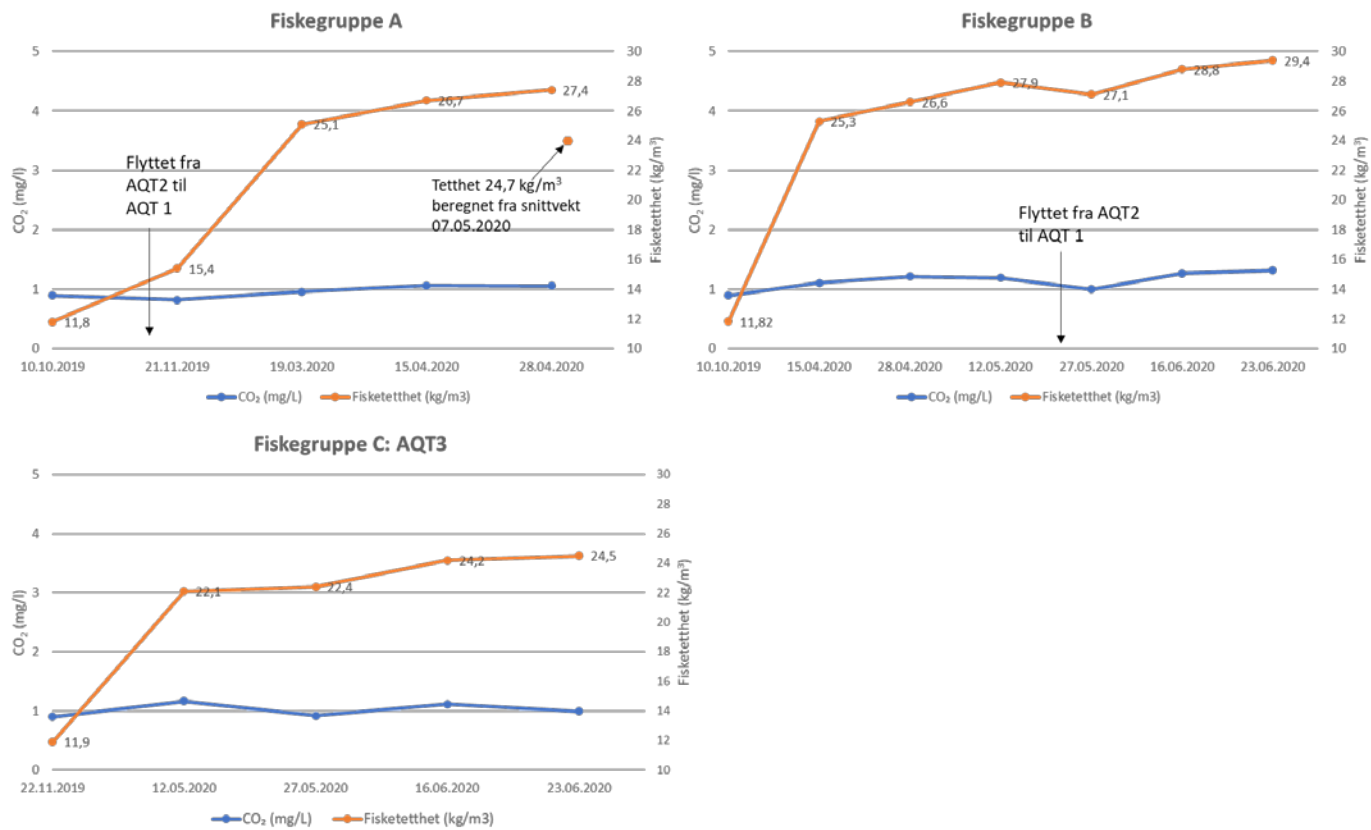
Dato	AQTmerd	Tetthet (kg/m ³)	Temperatur (målt på anlegget) °C	Salinitet (ppt)	pH (Eurofins 21 °C)	pH (temp. korrigert)	Alkalitet (mmol/L)	Turbiditet (FNU)	TSS (mg/L)	Totalt organisk karbon (TOC; mg C/L)	CO ₂ (mg/L)	TAN (µg N/L)	Ammoniakk (µg N/L) **
10.10.2019	AQT2	11,8	10,64	31,8	7,9	8,1	2,1	0,31	2,0	2,1	0,9	51,0	0,6
15.04.2020	AQT2	25,3	5,0	33,2	7,9	8,2	2,2	0,23	<2	2270	1,1	<3	<0,2
28.04.2020	AQT2	26,6	5,8	32,7	7,8	8,0	2,3	0,46	2,0	12800	1,2	43,0	0,4
12.05.2020	AQT2	27,9	6,0	33,4	7,9	8,1	2,2	0,56	2,0	1,7	1,2	<3	<0,03
27.05.2020	AQT1	27,1	7,1	30,9	7,9	8,1	2,14	0,29	14,5	1,9	1,0	7,2	0,10
16.06.2020	AQT1	28,8	7,7	33,4	7,8	8,0	2,09	0,29	<2	1,5	1,3	7,2	0,06
23.06.2020	AQT1	29,4	10	33,7	7,9	8,1	2,19	0,38	<2	1,5	1,3	<3	<0,03

Tabell 5.4: Resultat vannkjemiske analyser fiskegruppe C

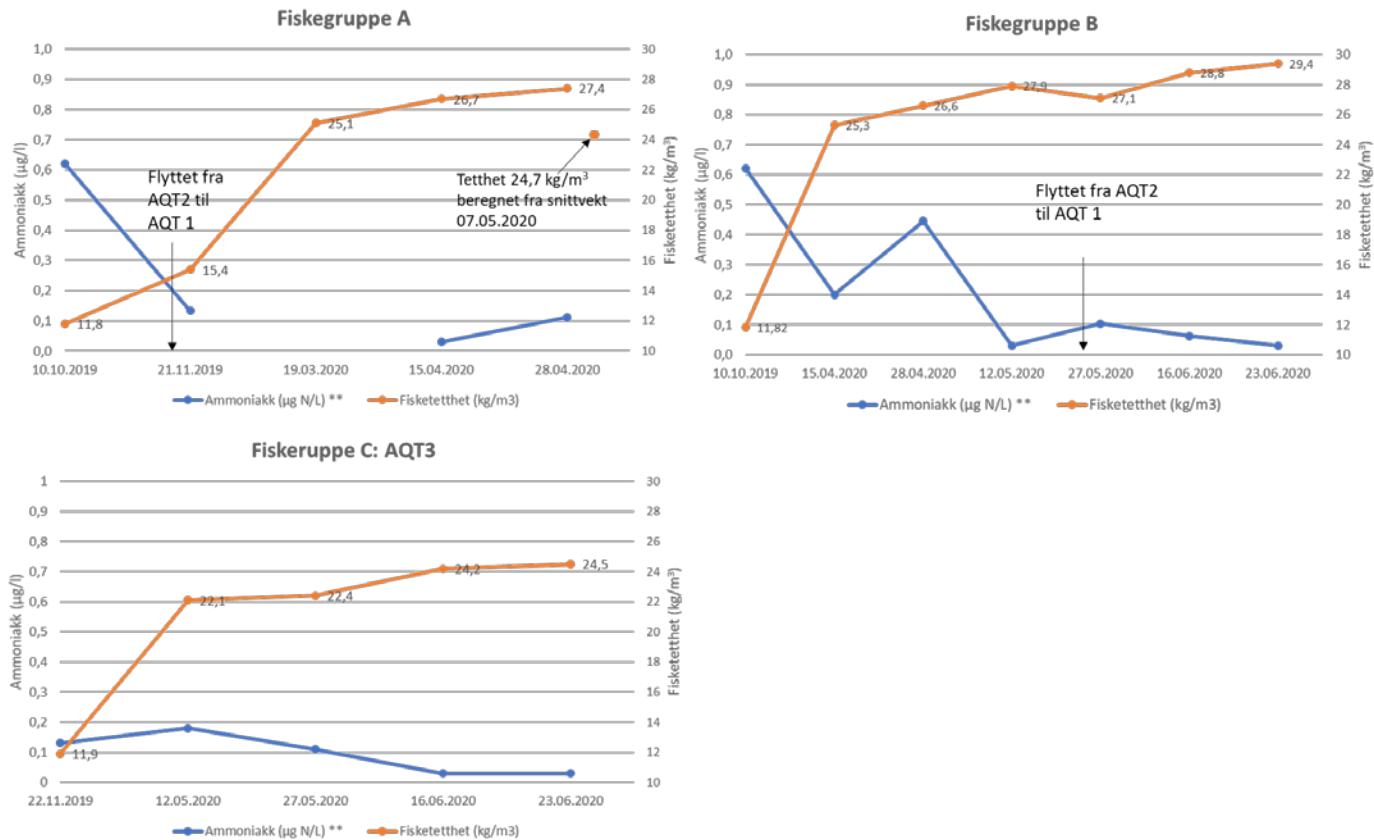
Dato	AQTmerd	Tetthet (kg/m ³)	Temperatur (målt på anlegget) °C	Salinitet (ppt)	pH (Eurofins 21 °C)	pH (temp. korrigert)	Alkalitet (mmol/L)	Turbiditet (FNU)	TSS (mg/L)	Totalt organisk karbon (TOC; mg C/L)	CO ₂ (mg/L)	TAN (µg N/L)	Ammoniakk (µg N/L) **
22.11.2019	AQT3	11,9	8,0	33,0	7,9	8,1	2,13	0,42	*	2970	0,9	13	0,13
12.05.2020	AQT3	22,1	6,0	33,3	7,9	8,1	2,13	0,5	<2	1,6	1,2	22	0,18
27.05.2020	AQT3	22,4	7,0	33,1	8,0	8,2	2,14	0,35	<2	2,2	0,9	7,8	0,11
16.06.2020	AQT3	24,2	7,7	33,6	7,9	8,1	2,16	0,33	<2	1,8	1,1	<3	<0,03
23.06.2020	AQT3	24,5	10,0	33,6	7,9	8,1	2,20	0,36	<2	1,3	1,0	<3	<0,03

* uteblitt analyse pga. manglende vannmengde, eller feil konservering av prøven.

** Beregnede verdier



Figur 5.8: Konsentrasjonen av fritt CO₂ (mg/L; blå linje) i AQT1, AQT2 og AQT3 ved oppstart og etter fisketettheten overstiger 25 kg/m³. Resultatene er vist per fiskegruppe. Oransje linje indikerer tetthetsutviklingen.



Figur 5.9: Konsentrasjonen av ammoniakk NH₃-N (µg/L; blå linje) i AQT1, AQT2 og AQT3 ved oppstart og etter fisketettheten overstiger 25 kg/m³. Resultatene er vist per fiskegruppe. Oransje linje indikerer tetthetsutviklingen. **NH₃-N er beregnet fra den målte konsentrasjonen av total ammonium nitrogen, temperatur, pH og salinitet.

5.4. Konklusjoner vannkvalitet

I sin helhet viser CTDO-dataene og data fra de fastmonterte O₂-sensorene at ved fisketettheter over 25 kg/m³ har man i samtlige av Aquatrazmerdene klart å opprettholde et godt oksygenmiljø for fisken (> 80% metning) og i tillegg har man unngått store døgnvariasjoner i O₂ som kan føre til stress.

De vannkjemiske analysene viser svært lave nivåer av metabolittene CO₂ og NH₃-N i perioden med økt tetthet i samtlige Aquatrazmerdene. I tillegg er det ikke noen indikasjoner på en økt partikkelbelastning med økt tetthet. Totalt sett viser resultatene at den passive og aktive vannskiftningen er tilstrekkelig til å opprettholde en meget god og stabil vannkvalitet ved økende fisketetthet i AQT1, AQT2 og AQT3.

6. Driftssikkerhet

6.1. Formål og bakgrunn

Formålet med dette kapitlet er å gi en kort oppsummering av erfaringer fra drift av Aquatrazmerder med aktivt vannutskiftningssystem på lokalitet Kyrøyene.

Utvikling og uttesting av ny teknologi medfører risiko. Erfaring og læring fra fullskala drift er viktig for å forstå og håndtere risiko på en hensiktsmessig måte. I en semi-lukket merd, som Aquatraz, vil kritikaliteten til det aktive vannutskiftningssystemet øke med grad av lukking og økende biomasse i merden. Driftssikkerhet til vannutskiftningssystemet og beredskap ved eventuell svikt i systemet er derfor essensielt for å drifte på en forsvarlig måte med høy fisketetthet.

Vannutskiftningen i Aquatrazmerdene skjer ved at vannet settes i sirkulasjon av 4 stk. strømsettere (Xylem miksere), som står i hver sin propellerdyse. Friskt vann suges inn fra senter av merd (i bunn), mens «brukt» vann trenges til siden og ned langs skjørt før det ledes ut av merden.

Strømsetterne, som er serieproduserte miksere, er uavhengige av hverandre og kan reguleres trinnløs fra null til maksimal effekt. Mikserne får strømtilførsel via sjøkabel fra fôrflåte. I tillegg er hver merd utrustet med nødaggregat som starter automatisk ved strømstans.

Ved stans av en eller flere strømsettere eller ved lave oksygenverdier er det etablert automatisk varsling til ansvarshavende.

6.2. Erfaringer

Det aktive vannutskiftningssystemet på Aquatrazmerdene består av følgende hovedkomponenter;

- Xylem mikser (maksimal effekt til mikserne varierer fra 3,0 kW til 5,7 kW)
- Propellerdyse med fundament
- Messingnot (innløp og utløp på propellerdyse)
- Hovedstrømforsyning fra fôrflåte inklusive sjøkabel til merd
- Nødaggregat på merd (montert i el-kontainer)
- Frekvensomformer for hver Xylem mikser (montert i el-kontainer)
- Automatisk SMS varslingssystem

Figur 6.1 viser strømsetterne med fundament på AQT4. Tilsvarende strømsettere er montert på alle fire Aquatrazmerdene.



Figur 6.1: Strømsettere (Xylem miksere)

Xylem miksere

Erfaringene med drift av Xylem miksere fra oktober 2018 (1 stk. mikser på Aquatraz 1) til august 2020 (totalt 16 stk. miksere i drift) er meget god. Mikserne har fungert problemfritt så langt. Service skal gjennomføres, mellom hvert utsett, av servicepersonell fra Xylem.

Propellerdyser med fundament

Propellerdysene med fundament er designet og bygget for Xylem mikserne til Aquatrazmerdene. Under drift på Kyrøyene ble det avdekket skader på to av dysene. Dysene ble tatt i land for inspeksjon og reparasjon. Inspeksjonen avdekket at det var avvik i forhold til godkjente tegninger, samt at arbeidsutførelsen ikke var i henhold til avtalt standard. I tillegg måtte innfestingen mellom dyse og fundament forsterkes som følge av større krefter på strukturen enn beregnet.

Innfesting mellom dyse og fundament har blitt re-designet og alle dysene er ombygget/forsterket i samsvar med nytt design. Etter ombygging har dysene fungert som tiltenkt.

Problemet med dysene har medført at det i deler av produksjonsperioden har vært færre enn fire miksere i drift på hver merd. Dette har ikke vært ideelt i forhold til vannutskiftning og strømningsbilde i merdene. Midt-Norsk ring har derfor vært benyttet i alle merdene for å bidra til å hente friskt vann.

Messingnot på propellerdyser

Messingnot er montert foran innløp og utløp på dysene for å forhindre at fisk skades av propellen. Groe på noten vil bidra til å redusere vannsirkulasjonen og det ble derfor valgt å benytte messingnot i stedet for Dynemanot på propellerdysene. Messingnoten har fungert effektivt med hensyn til groe. Utfordringen har vært å sikre effektiv isolasjon mot andre materialer for å unngå galvanisk korrosjon. Det er erfart noe tæring på stålrammene som følge av metallisk kontakt mellom messingnot og stålramme.

Design av dysenøtene vil endres før neste utsett.

Hovedstrømforsyning fra fôrflåte

Hovedstrømforsyningen fra fôrflåten Tyr har vært veldig stabil. Tyr er en relativt ny flåte (2017), som er i god teknisk tilstand.

Sjøkabler med innfesting til flåte og merd har fungert problemfritt.

Nøddaggregat

Nøddaggregat testes med jevnlig mellom. Testene viser at aggregatene starter automatisk, som tiltenkt.

Frekvensomformere

I utgangspunktet var frekvensomformerne plassert i egne skap på gangbro, to skap med to frekvensomformere i hvert skap. Uvær i løpet av høsten/ vinteren viste at skapene ikke var værtette, som forutsatt. Frekvensomformerne ble derfor flyttet inn i el-kontainer på merd, slik at uønsket stopp som følge av fuktskader på elektrisk utstyr unngås.

Flytting av frekvensomformerne til el-kontainer medfører at disse blir kritiske ved eventuell brann i el-kontainer (lang leveringstid på nye). Fire frekvensomformere, montert i 2 stk. værtette skap, er innkjøpt og ligger i beredskap på Midt-Norsk Havbruk sitt lager i Rørvik.

Automatisk SMS varslingsystem

Varslingssystemet er operativt og i løpet av produksjonstiden har det vært to hendelser med varsling til vakthavende.

7. Referanser

- Aldrin M, Storvik B, Kristoffersen AB, Jansen PA (2013) Space-Time Modelling of the Spread of Salmon Lice between and within Norwegian Marine Salmon Farms. PLoS ONE 8(5): e64039.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064039>
- Graham, D.A., Jewhurst, H., McLoughlin, M.F., Sourd, P., Rowley, H.M., Taylor, C., Todd, D. 2006. Sub-clinical infection of farmed Atlantic salmon *Salmo salar* with salmonid alphavirus – a prospective longitudinal study. Diseases of Aquatic Organisms 72(3);193-199
- Hjeltnes B, Bang Jensen B, Bornø G, Haukaas A, Walde C S (red), Fiskehelse rapporten 2018, utgitt av Veterinærinstituttet 2019.
- Kim, W.C., Pan, P.I.A., Xiang, J.L. 2013. Gill damage to juvenile orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* (Hamilton, 1822) following exposure to suspended sediments. Aquaculture research 44: 1685-1695.
- Noble, C., Nilsson, J., Stien, L.H., Iversen, M., Kolarevic, J. & Gismervik, K. 2018. Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd. 312 pp.
- Oppedal, F., Vågseth, T., Dempster, T., Juell, J.E., Johansson, D. 2011 Fluctuating sea-cage environments modify the effects of stocking densities on production and welfare parameters of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) Aquaculture 315 (3-4), 361-368.
- Pettersen, J., Jansen, M.D., Pettersen, J.H., Aunsmo, A. 2018. Effekter på matfiskproduksjon og kostnader av SAV2 i Midt-Norge 2013-2016. Rapport fra Patogen AS.
- Redding, J.M., Schreck, C.B., Everest, F.H. 1987. Physiological effects on Coho Salmon and Steelhead of exposure to suspended solids. Transactions of the America Fisheries Society 116: 737-744
- Rud, I., Kolarevic, J., Holan, A. B., Berget, I., Calabrese, S., & Terjesen, B. F. (2017). Deep-sequencing of the bacterial microbiota in commercial-scale recirculating and semi-closed aquaculture systems for Atlantic salmon post-smolt production. *Aquacultural Engineering*, 78, 50-62.
- Sveen, L. R., Timmerhaus, G., Torgersen, J. S., Ytteborg, E., Jørgensen, S. M., Handeland, S., ... & Terjesen, B. F. (2016). Impact of fish density and specific water flow on skin properties in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts. *Aquaculture*, 464, 629-637.
- Sveen, L. R., Timmerhaus, G., Krasnov, A., Takle, H., Stefansson, S. O., Handeland, S. O., & Ytteborg, E. (2018). High fish density delays wound healing in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Scientific reports*, 8(1), 16907.
- Taranger, G.L., et al. Control of puberty in farmed fish. Gen. Comp. Endocrinol. (2009), doi:10.1016/j.ygcen.2009.05.004
- Thorarensen, H., & Farrell, A. P. 2011. The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. Aquaculture, 312(1-4), 1-14.

8. Vedlegg

8.1. Velferdsscore/ individkontroller

8.1.1. Velferdsscore/ individkontroller fiskegruppe A

Undersøkelsene som er utført oppsummeres i tabellen under. For alle parametere med unntak av antall fisk er det oppgitt gjennomsnittsverdier.

Parameter	22.04.2020	07.05.2020
Antall fisk	40	40
Gjennomsnittsvekt (g)	3127	3398
Gjennomsnittslengde (cm)	62,1	63,2
Gjennomsnittlig k-faktor	1,28	1,32
Aktiv ryggfinneskade	0,60	0,83
Helbredet ryggfinneskade	1,15	1,40
Aktiv brystfinneskade	1,25	1,58
Helbredet brystfinneskade	1,10	1,25
Aktiv halefinneskade	1,70	2,13
Helbredet halefinneskade	1,50	1,58
Ryggdeformitet	0,05	0,20
Skjelltap	2,08	2,23
Sår	0,73	1,38
Hudblødning	1,18	1,13
Snuteskade	1,80	1,63
Øyeskade	0,20	0,43
Utstående øye	0,78	0,90
Gjellelokkskade	0,20	0,18
Overkjevedeformitet	0,00	0,00
Underkjevedeformitet	0,08	0,03
Katarakt	0,10	0,00

8.1.2. Velferdsscore/ individkontroller fiskegruppe B

Undersøkelsene som er utført oppsummeres i tabellen under. For alle parametere med unntak av antall fisk er det oppgitt gjennomsnittsverdier.

Parameter	22.04.2020	09.06.2020	07.07.2020
Antall fisk	40	39	40
Gjennomsnittsvekt (g)	3193	3705	3779
Gjennomsnittslengde (cm)	61,3	64,8	66,9
Gjennomsnittlig k-faktor	1,37	1,35	1,25
Aktiv ryggfinneskade	0,50	0,55	0,33
Helbredet ryggfinneskade	1,08	1,20	1,18
Aktiv brystfinneskade	1,10	0,85	0,62
Helbredet brystfinneskade	1,05	1,05	1,03
Aktiv halefinneskade	1,63	1,53	0,79
Helbredet halefinneskade	1,65	1,55	1,38
Ryggdeformitet	0,08	0,20	0,03
Skjelltap	1,28	2,15	2,26
Sår	0,28	2,15	2,26
Hudblødning	0,60	0,98	1,03
Snuteskade	1,78	1,43	1,46
Øyeskade	0,18	0,10	0,21
Utstående øye	0,85	0,58	0,59
Gjellelokkskade	0,05	0,10	0,03
Overkjevedeformitet	0,00	0,03	0,00
Underkjevedeformitet	0,05	0,03	0,00
Katarakt	0,10	0,00	0,00

8.1.3. Velferdsscore/ individkontroller fiskegruppe C

Undersøkelsene som er utført oppsummeres i tabellen under. For alle parametere med unntak av antall fisk er det oppgitt gjennomsnittsverdier.

Parameter	06.11. 2019	17.12. 2019	29.01. 2020	19.02. 2020	21.04. 2020	19.05. 2020	18.06. 2020	27.07. 2020
Antall fisk	40	40	40	40	40	40	41	39
Gjennomsnittsvekt (g)	2055	2350	2642	3064	3665	4496	4972	4942
Gjennomsnittslengde (cm)	53,5	57,1	59,1	60,6	65,1	68,2	69,9	71,9
Gjennomsnittlig k-faktor	1,34	1,26	1,27	1,36	1,31	1,40	1,44	1,32
Aktiv ryggfinneskade	1,13	0,23	0,18	0,55	0,60	0,70	0,59	0,10
Helbredet ryggfinneskade	1,73	1,18	1,25	1,15	1,18	1,08	1,07	1,18
Aktiv brystfinneskade	1,40	0,50	0,20	0,73	0,80	0,85	0,59	0,41
Helbredet brystfinneskade	2,15	1,15	1,18	1,08	1,13	1,10	1,05	1,03
Aktiv halefinneskade	1,33	1,20	0,73	1,10	1,85	1,60	1,32	0,75
Helbredet halefinneskade	1,85	1,40	1,40	1,48	1,95	1,43	1,51	1,46
Ryggdeformitet	0,03	0,05	0,05	0,03	0,08	0,13	0,17	0,13
Skjelltap	2,10	1,90	1,33	1,65	1,53	1,78	1,20	1,72
Sår	0,13	0,05	0,03	0,20	0,25	0,43	0,95	0,89
Hudblødning	0,30	0,93	0,48	0,50	0,90	0,78	0,85	1,41
Snuteskade	0,68	0,40	1,10	1,25	1,63	1,48	1,22	1,72
Øyeskade	0,08	0,23	0,03	0,08	0,23	0,05	0,41	0,21
Utstående øye	0,80	0,28	0,43	0,60	0,58	0,70	0,66	0,49
Gjellelokkskade	0,00	0,03	0,03	0,05	0,00	0,05	0,05	0,10
Overkjevedeformitet	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Underkjevedeformitet	0,03	0,00	0,05	0,03	0,00	0,03	0,02	0,00
Katarakt	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

8.1.4. Velferdsscore/ individkontroller fiskegruppe E

Undersøkelsene som er utført oppsummeres i tabellen under. For alle parametere med unntak av antall fisk er det oppgitt gjennomsnittsverdier.

Parameter	06.11. 2019	17.12. 2019	29.01. 2020	19.02. 2020	21.04. 2020	19.05. 2020	18.06. 2020
Antall fisk	40	40	40	40	40	40	39
Gjennomsnittsvekt (g)	2193	2462	3224	3105	3832	4928	5247
Gjennomsnittslengde (cm)	54,5	57,1	61,9	61,6	65,2	68,9	70,7
Gjennomsnittlig k-faktor	1,35	1,28	1,35	1,31	1,36	1,49	1,45
Aktiv ryggfinneskade	1,83	0,25	0,20	0,55	0,73	0,40	0,54
Helbredet ryggfinneskade	1,70	1,28	1,15	1,25	1,10	1,18	1,18
Aktiv brystfinneskade	1,80	0,18	0,63	0,48	0,83	0,55	0,59
Helbredet brystfinneskade	1,90	1,08	0,98	1,10	1,03	1,05	1,03
Aktiv halefinneskade	1,75	0,80	0,83	1,45	2,18	1,78	1,67
Helbredet halefinneskade	1,80	1,43	1,25	1,75	1,85	1,70	1,77
Ryggdeformitet	0,08	0,03	0,08	0,03	0,00	0,18	0,03
Skjelltap	2,28	1,58	1,65	2,55	2,53	2,35	2,69
Sår	0,13	0,08	0,13	0,13	0,05	0,33	1,00
Hudblødning	0,73	0,80	0,75	0,93	1,05	1,18	1,44
Snuteskade	0,93	1,15	0,90	1,43	1,50	1,43	1,46
Øyeskade	0,15	0,08	0,18	0,38	0,40	0,23	0,18
Utstående øye	1,05	0,43	0,63	0,58	0,68	0,53	0,38
Gjellelokkskade	0,05	0,03	0,05	0,00	0,03	0,03	0,05
Overkjevedeformitet	0,00	0,00	0,00	0,03	0,10	0,03	0,00
Underkjevedeformitet	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,05	0,05
Katarakt	0,15	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03