

Aquatraz:

Sluttrapport for biologiprogram – merdgenerasjon 2 på Kyrøyene

Dokument nr.: AQT-MNH-BIO-008



Aquatraz 3 på pongtonger under klargjøring. Foto: Steinar Johansen

Rev	Dato	Bakgrunn for utgivelse	Laget av	Sjekket av	Godkjent av
0	22.01.2021	Sluttrapport merdgenerasjon 2 i henhold til plan.	TS	SH	FØ

Aquatraz: Sluttrapport for biologiprogram – merdgenerasjon 2 på Kyrøyene

Forfattere

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

Redaktør

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

Sendt inn til Fiskeridirektoratet og Mattilsynet 22.01.2021

Samarbeidspartnere i prosjektet



Veterinær Sturla Romstad

Innhold

1. Oppsummering.....	6
2. Innledning.....	9
3. Forkortelser og definisjoner	11
4. Produksjonseffektivitet – analyse av sentrale produksjonsparametere.....	13
4.1. Formål og bakgrunn	13
4.2. Biologisk modell	13
4.3. Økonomisk modell.....	14
4.4. Grunnlagsdata	14
4.5. Resultat.....	15
4.6. Diskusjon	16
5. Velferdsvurderinger	18
5.1. Formål og bakgrunn	18
5.2. Metodikk	18
5.3. Resultat og diskusjon.....	19
6. Helseovervåking med vekt på gjellehelse og hjertehelse	23
6.1. Formål og bakgrunn	23
6.2. Oppsummering av resultater og funn	23
6.2.1. Hjertehelse	23
6.2.2. Gjellehelse	28
7. Lakselus	31
7.1. Formål og bakgrunn	31
7.2. Områdeinformasjon	31
7.3. Resultater fra AQT3 og kontrollmerd.....	32
7.4. Akkumulert sammenligning	35
7.5. Oppsummering.....	41
8. Adferd og akustisk telemetri	42
8.1. Formål og bakgrunn	42
8.2. Metodikk	42
8.2.1. Akustisk fisketelemetri	42
8.2.2. Analyser av dybdedata	43
8.2.3. Forflytningsdistanser	44
8.2.4. Fordelinger av registreringer i ulike vannvolum	44
8.3. Resultater og diskusjon	45
8.3.1. Datafangst	45
8.3.2. Horisontal fordeling.....	45

8.3.3.	Dybdebruk	47
8.3.4.	Forflytningsdistanser	51
8.3.5.	Fordelinger av registreringer i ulike vannvolum	53
8.4.	Oppsummering.....	55
9.	Vannkvalitet, dyreplankton og mikroalger.....	57
9.1.	Formål og bakgrunn	57
9.2.	Vannkvalitet.....	57
9.2.1.	Hydrografiske profiler (CTDO).....	57
9.2.2.	Sensordata.....	64
9.2.3.	Vannkjemi.....	68
9.3.	Vannbårne agens.....	69
9.3.1.	Dyreplankton: hovedfokus lakselus	69
9.3.2.	Mikroalger	73
9.4.	Konklusjoner vannmiljø.....	75
10.	Produktkvalitet	77
10.1.	Bakgrunn og formål	77
10.2.	Materiale og metode.....	77
10.3.	Resultater	77
11.	Helsekontroller	82
12.	Slaktedata.....	83
12.1.	Formål og bakgrunn	83
12.2.	Metode.....	83
12.3.	Resultat og diskusjon.....	83
13.	Referanser	89
14.	Vedlegg.....	91
14.1.	Velferdsscore/individkontroller	91
14.1.1.	Velferdsscore/individkontroller AQT3	91
14.1.2.	Velferdsscore/individkontroller KTR	92
14.2.	CTDO-målinger	93
14.2.1.	Stasjon H1 – tilstrømmende vann.....	93
14.2.2.	Stasjon H2 – kontrollmerd, nært sentrum	96
14.2.3.	Stasjon H3 – kontrollmerd, skjørtvegg øst	99
14.2.4.	Stasjon H5 – AQT3, nært sentrum.....	102
14.2.5.	Stasjon H6 – AQT3, ved yttervegg gangbro.....	105
14.2.6.	Stasjon H7 – AQT3, ved merdvindu.....	108
14.2.7.	Salinitet – Stasjon H1–H9 for hver måledato	111

14.2.8.	Temperatur – Stasjon H1–H9 for hver måledato	127
14.2.9.	Oksygenmetning – Stasjon H1–H9 for hver måledato	143
14.3.	Gjennomsnittlig døgnvariasjon i O ₂ -metning ved lav og høy tetthet	159

1. Oppsummering

Denne rapporten oppsummerer biologidelen av Aquatrazprosjektet for generasjon 2 av Aquatrazmerden (AG2). Dette er en del av et utviklingstillatelsesprosjekt hvor Seafarming Systems eier konseptet, Midt-Norsk Havbruk oppdretter fisk i merden og bidrar med innspill, mens innleide partnere har bidratt med undersøkelser og vurderinger.

Hensikten med biologiprogrammet er å dokumentere resultater for Aquatrazmerden, se etter forskjeller mot konvensjonell merd og ut fra et biologisk ståsted bidra til videreutvikling av hver generasjon av merdkonseptet og det påfølgende biologiprogrammet. Programmet som denne rapporten oppsummerer, er knyttet til lokaliteten 30076 Kyrøyene og pågikk i perioden 28.10.2019 til 01.09.2020. Her er resultatene fra merden Aquatraz 3 (AQT3) sammenlignet med en konvensjonell kontrollmerd (KTR).

Konklusjoner fra dette biologiprogrammet kan oppsummeres slik:

- **Produksjonseffektivitet:** De biologiske forskjellene mellom fisken i AQT3 og KTR-merden er betydelige og er både positive og negative for Aquatrazmerden. Enkelte av de biologiske forskjellene er tilfeldige og kan ikke relateres til teknologien. Produksjonskostnaden er lavere i AQT3 enn KTR, lusekostnadene er lavere og det er lavere tap som følge av dødelighet. På den annen side er investeringskostnadene høyere, oppnådd laksepris lavere og nedklassing ved slakt høyere for AQT3. Dersom også de biologiske prestasjonene forbedres er det et betydelig potensial for å utvikle Aquatraz til å bli en kostnadseffektiv teknologi. Forbedring i biologiske prestasjoner vil også gi bedre fiskevelferd og redusert klimaavtrykk. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 4.
- **Velferdsindikatorer på individnivå:** Operative velferdsindikatorer på individnivå er fulgt opp månedlig, med unntak av mars 2020. De samme parametere som for biologiprogram 1 er registrert. Resultatene viser ingen store forskjeller mellom fiskene i AQT3 og fiskene i KTR. Ut fra dette materialet ser at man ingen systemforskjeller knyttet til operative velferdsindikatorer på individnivå. De viktigste anmerkningene var trolig relatert til håndtering/avlusing, dette var skjelltap, hudblødninger og sår. I tillegg så man et innslag av ryggdeformiteter mot slutten av produksjonstiden, noe som kan ha vært assosiert med PD-vaksine. Kjønnsmodning ble også observert. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 5.
- **Hjertehelse og gjellehelse:** Hjerne- og gjellehelse er hovedsakelig dokumentert ved bruk av histologiske undersøkelser. Det var ikke signifikante forskjeller i hjerte- eller gjellescore mellom AQT3 og KTR. Det ble heller ikke funnet forskjell i relativ hjertestørrelse (kardiosomatisk indeks) mellom de to gruppene i dette materialet, men dette skyldes antakeligvis unøyaktige veiing av kroppsvekt under feltforhold. Det antas at de målingene som ble gjort i forbindelse med kvalitetsprøver er mer pålitelige og at det er sannsynlig at det har vært relativt sett større hjerter på fisken i AQT3 enn på fisken i KTR. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 6.
- **Lakselus:** Lakselus har vist ulik utvikling i AQT3 og KTR. Ved start av forsøket var det registrert lusepåslag i begge merdsystemene, og den siste delen av produksjonen ble gjennomført uten skjørt på kontrollmerden. Dette er momenter som er viktig å ha med seg i evalueringen av tallene. Både direkte sammenligning og akkumulert sammenligning viser at AQT3 har en langt bedre luseutvikling enn KTR, hele perioden sett under ett og i perioder der kontrollmerden hadde skjørt. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 7.

- **Adferd:** Adferd er overvåket ved hjelp av akustisk telemetri, og en sammenligning er gjort mellom AQT3 og KTR. For begge merdene ble det observert en tydelig døgnadferd hvor fisken oppholdt seg på større dyp om dagen enn om natten. I AQT3 sto fisken generelt dypere enn i KTR. Det var store individuelle forskjeller i dybdeadferd for begge merdsystemene, men forskjellene var størst i AQT3. Fisk forflytter seg også hurtigere og tilbakelegger større distanser i AQT3. Den aktive volumbruken resulterer i reelt sett like eller marginalt høyere gjennomsnittlige og maksimale fisketettheter i AQT3 sammenlignet med kontrollmerd, til tross for betydelige høyere antall individer og tetthet. Det fremkommer også tydelig i datamaterialet at faktorer som dårlig vær og anleggsoperasjoner påvirker adferden til fisken. Som følge av tidkrevende kvalitetssikring av store datamengder er kun deler av datasettet analysert i denne rapporten, flere analyser utføres og presenteres senere i prosjektet. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 8.
- **Vannkvalitet:** Vannkvalitet, dyreplankton og mikroalger er overvåket i begge merdsystemene. Oksygenmetningen har vært lavere i AQT3 enn KTR, men med få unntak har man opprettholdt et godt oksygenmiljø for fisken i AQT3 med en gjennomsnittlig oksygenmetning på over 85 %. Det har vært en gjennomgående mer stabil temperatur og salinitet i AQT3 sammenlignet med KTR og tilstrømmende vann. Saliniteten har også vært høyere i AQT3. De vannkjemiske analysene viser svært lave nivåer av metabolittene CO₂ og NH₃-N i perioden med økt tetthet i AQT3. I tillegg er det ikke funnet noen indikasjoner på økt partikkelbelastning i AQT3. Totalt sett viser resultatene at den passive og aktive vannutskiftningen er tilstrekkelig til å opprettholde en god og stabil vannkvalitet i AQT3. Dyreplanktonprøver viser relativt få lus på alle prøvetakingsstasjoner, og det er ingen signifikant forskjell mellom AQT3 og KTR. Det ble nesten ikke funnet lus i tilstrømmende vann, noe som kan tyde på at de observerte larvene er produsert i merdene. Det er ikke funnet noen konkrete mønster eller tydelige forskjeller i mikroalgesamfunnet mellom AQT3, KTR og det tilstrømmende vannet. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 9.
- **Produktkvalitet:** Produktkvalitet er overvåket, men kan være påvirket av pancreas disease (PD) på lokaliteten. Datamaterialet fra overvåkingen viser at fisken fra AQT3 tenderte til å ha mindre skjelltap sammenlignet med fisken fra KTR. Materialet dokumenterer også høyere relativ hjertestørrelse (kardiosomatisk indeks) på fisken fra AQT3 ved to av uttakene. Mot slutten av produksjonstida hadde fisken fra AQT3 lavere fettinnhold i muskulaturen. Fastheten i fileten var generelt god, uten signifikant forskjell mellom gruppene. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 10.
- **Helsekontroller:** Helsekontroller er gjennomført månedlig. De viktigste anmerkningene til helse- og velferdssituasjonen har vært pancreas disease, sår/sårinfeksjoner, håndtering/avlusing på kalde temperaturer. Det ble også funnet fisk infisert med viruset som forårsaker hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB), samt innslag av kjønnsmodning og ryggdeformiteter mot slutten av produksjonen. Utfyllende informasjon om dette finnes i kapittel 11.
- **Slaktedata:** Slaktedata er evaluert, og en forhøyet andel av fisken fra AQT3 ble nedklassert ved slakting. Dette var i stor grad nedklassing til Produksjon A og Produksjon B hvor sår, kjønnsmodning og deformiteter var de hyppigste årsakene. Dette er sammenholdt mot velferdsscoreing gjort i felt, og det viser relativt godt samsvar. Det er ikke mulig å konkludere på hvorvidt den økte forekomsten av sår i AQT3 er relatert til tetthet, ekstra håndtering eller selve Aquatraz-teknologien, men det er ikke funnet studier som støtter at tettheter som er registrert i AQT3 kan forårsake sår. Prosjektet er heller ikke kjent med studier som har sett på forskjeller i bakterietetthet og bakteriesammensetning i semilukkede anlegg.

Håndtering har man imidlertid klare indisier på at har forårsaket sår basert på de velferdsscoreingene som er utført. Større grad av kjønnsmodning i AQT3 enn KTR skyldes sannsynligvis senere slaktetidspunkt for AQT3. De registrerte ryggdeformitetene kan være assosiert med PD-vaksine, men dette er ikke undersøkt nærmere. Utfyllende informasjon om funn fra slaktedata finnes i kapittel 12.

2. Innledning

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

I tråd med målkriterie 8.1 i tilsagnsbrevet fra Fiskeridirektoratet, skal produksjonen dokumenteres i henhold til avtalt måleprogram. Dette måleprogrammet er regulert i målkriterie 7.1. i tilsagnsbrevet. Denne sluttrapporten svarer på måleprogrammet "Aquatraz: Program for å dokumentere biologiske resultater i driftsfasen – versjon 2 på Kyrøyene" med siste revisjon 26.02.2020 (Dokument nr.: AQT-MNH-BIO-003), samt halvårsrapporten for dette programmet datert 05.06.2020 (Dokument nr.: AQT-MNH-BIO-006). Denne sluttrapporten for måleprogrammet på Kyrøyene oppsummerer biologien i andre merdgenerasjon av Aquatraz, samtidig som det gir noen innspill til hvordan prosjektet og merden bør 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
- Rømningssikker teknologi
- Forbedret HMS
- Høyere effektivitet/ økonomisk foretrukken teknologi

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

Programmet som har pågått på Kyrøyene startet 28./29.10.2019, da det ble flyttet inn fisk på ca. 1,7 kg snittvekt fra konvensjonelle merder til merd AQT3 (304.679 stk.) og en kontrollmerd (151.305 stk.) på lokaliteten 30076 Kyrøyene. Fisken har opprinnelse i samme smoltanlegg, og var satt ut på samme tidspunkt og ellers med så lik historikk som praktisk mulig. AQT3 har 8 meter stålskjørt og kontrollmerden var en konvensjonell 160-metring der det var brukt 8 meter presenningskjørt i deler av produksjonen. Det ble ikke benyttet rensefisk i AQT3 eller kontrollmerden.

Fra både kontrollmerden (KTR) og AQT3 ble det gjort delslakt, henholdsvis i juni og juli 2020. Siste slakting fra KTR ble gjort i juli, og fra AQT3 ble de siste individene slaktet i overgangen august/september 2020.

Parallelt med dette biologiprogrammet har det gått et eget måleprogram for økt tetthet av fisk i Aquatrazmerder på lokaliteten Kyrøyene. Resultatene fra dette programmet er oppsummert i en egen rapport (Dokument nr.: AQT-MNH-BIO-007). Noen elementer er sammenfallende mellom disse to programmene, og er omhandlet i begge rapportene, andre elementer utfyller hverandre. Fisken i AQT3 har vært en del av tetthetsprogrammet, sammen med fisk i to andre Aquatrazmerder, AQT1 og AQT2.

Rapporten er bygd opp rundt disposisjonen til biologiprogrammet, men i tillegg til dette er det tatt inn to kapitler om henholdsvis helsekontroller og slaktedata som var relevant for resultatene fra produksjonen.

3. Forkortelser og definisjoner

AG	Aquatraz merdgenerasjon
AQT	Aquatraz. Brukes for å navnsette merd etter leveringsnummer, eks. AQT1.
bFCR	Biologic feed conversion ratio, synonymt med bFF
bFF	Biologisk fôrfaktor
BP	Biologiprogram. Følger første merd av hver merdgenerasjon i Aquatrazprosjektet.
CO ₂	Karbondioksid
CSI	Cardiosomatic index, forholdet mellom hjertevekt og kroppsvekt
CTDO	Måleinstrument for konduktivitet, salinitet, dybde og oksygen
FCR	Feed conversion ratio, fôrfaktor
HE	Hematoksylin-eosin. Fargemetode for vevssnitt
HSI	Hepatosomatic index, forholdet mellom levervekt og kroppsvekt
HSMB	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse
HSS	Hemoragisk smoltsyndrom
IMM	Ikke-medikamentell metode, behandling mot lakselus.
K-faktor	Kondisjonsfaktor, beregnes med Fultons formel
KF	K-faktor
KTR	Kontrollmerd i Aquatraz biologiprogram
M	Merd. Brukes for å navnsette konvensjonelle merder, eks. M5.
NH ₃ -N	Ammoniakk
NKS	Norsk kvalitetssnitt, synonymt med NQC (Norwegian quality cut)
NOK	Norske kroner
O ₂	Oksygen
OVI	Operativ velferdsindikator
PCR	Polymerase chain reaction, en metode for amplifisering av små mengder DNA
PD	Pancreas disease
PRV	Piscint orthoreovirus
RVM	Relativ ventrikelmasse, forholdet mellom vekt av hjertets ventrikel og kroppsvekt
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

4. Produksjonseffektivitet – analyse av sentrale produksjonsparametere

Av: Arnfinn Aunsmo, DVM PhD, Barkbekken

4.1. Formål og bakgrunn

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

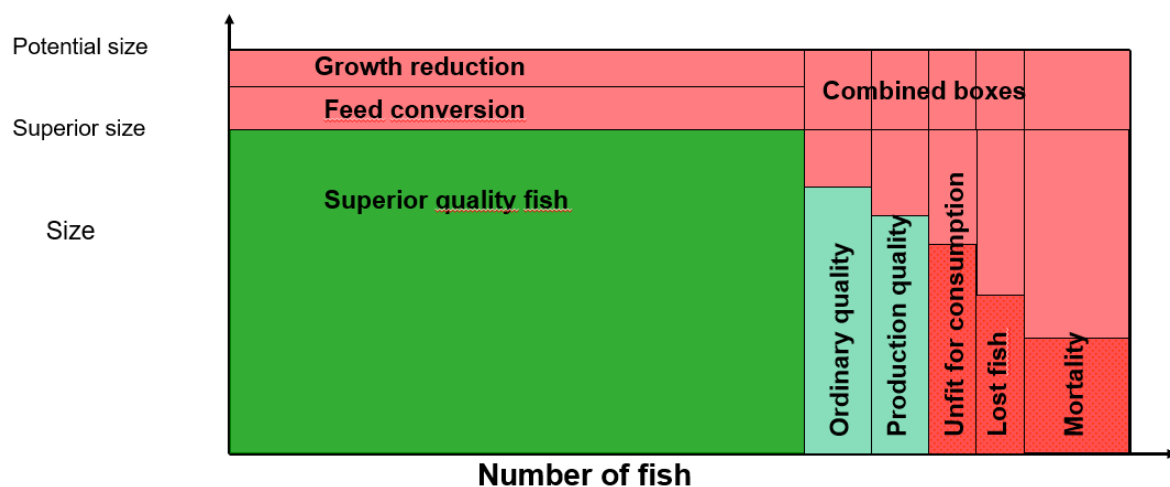
Produksjonen i Biologiprogram2 (BP2) på lokalitet 30076 Kyrøyene 2019 - 2020 er analysert med en videreutviklet metodikk av det som ble brukt til analyser i BP1. 2. generasjon Aquatraz (AQT3) er sammenlignet med ei merd med konvensjonell teknologi (KTR) for å se på både biologisk og økonomisk effektivitet.

Mål:

- Sammenligne kostnader og produksjonseffektivitet i AQT3 og konvensjonell teknologi
- Vise effekt av forskjeller av kostnader og sentrale produksjonsparametere på produksjonskostnad og marginer i AQT3 vs. konvensjonell teknologi

4.2. Biologisk modell

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



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

4.3. Økonomisk modell

Det er laget en «full modell» for evaluering av både økonomi og biologisk produksjon i AQT3 og kontrollmerd (KTR). Modellen simulerer både kostnadene og de spesifikke produksjonsmessige fordelene og ulempene ved bruk av Aquatraz sammenlignet med konvensjonell merdteknologi. Det vil si at forskjeller i biologi kan simuleres slik at man kan vise økonomisk effektivitet. Ettersom AQT3 og kontrollmerda (KTR) er forskjellige i volum er det ikke relevant å sammenligne et totalresultat. Effekter per kg solgt laks er sammenlignbare størrelser og modellen beskriver effekten av forskjellen mellom de to merdene for prodkost (Δ prodkost), oppnådd pris (Δ laksepris) og samlet for resultat (Δ margin). Alle effekter (Δ -verdier) er oppgitt i kr per kg der forskjellen er beregnet ved at verdien for KTR er trukket fra verdien for AQT3.

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

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

4.4. Grunnlagsdata

Slike modeller er avhengige av gode data for å kunne gi sikre vurderinger på effekt av teknologi. Det er hentet inn produksjon- og økonomidata fra Midt-Norsk Havbruk sine produksjonsstyrings- og økonomiverktøy til modellen. Smålags ble flyttet inn i enhetene ved ca. 1,7 kg vekt og pris 31 kr/kg rundvekt. Effekt av en lav pris på smålags er analysert ved å beregne hvilken pris på smålags som ville gitt samme kostnad på innkjøpt biomasse som produsert biomasse. Kostnader er til en viss grad splittet til de enkelte enhetene, men det er ikke gjort en full splitt på alle områder. Det er heller ikke logget timer eller bruk av andre ressurser i detalj slik at ressursfordeling mellom enheter på lokaliteten er på et overordnet nivå.

Analysen er basert på én produksjon med to merder (BP2) slik at det statistiske grunnlaget for vurdering av hvorvidt forskjeller er tilfeldige eller kan begrunnes i teknologien er begrenset. Modellen er kalibrert til å gi en prodkost på 38,76 kr per kg sløyd pakket i kasse for KTR, dette er et gjennomsnittsnitt for Trøndelag i 2019 (Fiskeridirektoratet 2020). Pris på fôr, forsikring fisk og slaktekostnader er også hentet fra et gjennomsnitt for Trøndelag i 2019 (Fiskeridirektoratet 2020). Årlige kostnader ved ny teknologi er basert på en estimert investeringskostnad på en serieprodusert enhet med NOK 50 mill. avskrevet over 15 år med en rente på 3,15% og null i restverdi. Det er brukt en laksepris fra 2019 (Nasdaq Salmon Index) i analysen. Effekt av størrelse av fisk på pris er inkludert hvor et snitt for hele 2019 er brukt for å justere pris vs. størrelse. Pris er redusert med NOK 10,- per kg for fisk nedklasset til ProduksjonA (ProdA) og det er brukt en fast salgspris på NOK 15,- per kg for fisk nedklasset til ProduksjonB (ProdB). Levende vekt er konvertert til sløyd vekt med bruk av en faktor på 0,86.

4.5. Resultat

Forskjeller i total produksjon er vist i tabell 4.1, effekt av investeringskostnader er vist i tabell 4.2, effekt av biologiske produksjonsparametere er vist i tabell 4.3, effekt av andre kostnader er vist i tabell 4.4 og effekt av pris på smålaks er vist i tabell 4.5.

Tabell 4.1: Hovedtall fra produksjonen i AQT3 og konvensjonell merd (KTR) på Kyrøyene 2019-2020.

Variabler	AQT3	KTR	Δ effekt
Kjøpt volum rund (smålaks) kg	511 508	271 573	239 935
Solgt volum rund kg	1 437 120	724 685	712 435
Solgt volum sløyd kg	1 235 923	623 229	612 694
Salgsinntekter NOK 1000	65 617	36 146	29 471
Kostnader NOK 1000	45 066	24 158	20 908
Resultat NOK 1000	20 551	11 988	8 563
Prodkost kr/kg	36,46	38,76	-2,30
Laksepris kr/kg	53,09	58,00	-4,91
Margin kr/kg	16,63	19,24	-2,61

Tabell 4.2: Estimerte investerings-, rente- og forsikringskostnader med ny teknologi i AQT3. Beregninger er per år, produksjonen skjedde over 10-11 måneder.

Investeringer – effekter	AQT3	KTR	Δ prodkost*
Avskrivninger kr/kg	2,70	0,32	2,38
Renter kr/kg	0,64	0,03	0,61
Forsikring anlegg, kr/kg	0,28	-	0,28
Sum investeringer, kr/kg	3,62	0,35	3,27

* Δ prodkost: Forskjell i produksjonskostnad (kr/kg) mellom de to teknologiene.

Tabell 4.3: Forskjeller i sentrale biologiske produksjonsparametere og effekter på prodkost, pris og margin. Effekt på prodkost og pris er modellert ved å bruke biologisk effekt fra KTR i produksjonsmodellen for AQT3 (en for en).

Biologi - effekter	AQT3	KTR	Forskjell	Δ prodkost	Δ pris	Δ margin
Vekt rund kg	5,03	5,25	-0,21	0,64	-0,57	-1,21
Dødelighet %	5,77 %	8,58 %	-2,81 %	-0,88	0,00	0,88
Dødfiskvekt kg	3,49	3,77	-0,28	-0,06	0,00	0,06
bFCR	1,26	1,21	0,05	0,45	0,00	-0,45
Nedklassing prodA %	16,93 %	7,74 %	9,19 %	0,00	-0,92	-0,92
Nedklassing prodB %	7,88 %	0,13 %	7,75 %	0,00	-3,37	-3,37
Utkast slaktet biomasse %	0,49 %	0,12 %	0,37 %	0,12	-0,02	-0,14
Sum effekter biologi				0,27	-4,88	-5,15

* Ved simulering av disse variablene endres total produksjon (kg) i AQT3 med effekt på alle fordelte kostnader (faste). Videre vil «combined boxes» i bPLM endre et helhetsresultat når alle variabler endres vs. en for en.

Tabell 4.4: Effekt av andre driftskostnader, lønn og lusekostnader mellom AQT3 og KTR.

Driftskostnader og lønn	AQT3	KTR	Δ prodkost
Lus forebygging kr/kg	0	1,12	-1,12
Lus behandling kr/kg	1,17	3,05	-1,88
Andre driftskostnader kr/kg	2,24	3,69	-1,45
Lønn kr/kg	0,81	1,60	-0,80
Sum driftskostnader og lønn	4,22	9,47	-5,24

Tabell 4.5: Analyse av effekt av lavere innkjøpspris på smålaks enn prodkost på samlet volum av kjøpt volum (smålaks) og produsert volum. Lav smålakspris gir en vesentlig redusert prodkost i KTR.

Effekt av pris på smålaks	AQT3	KTR	Δ effekt
Pris smålaks sløydvekt, kr/kg (31,- per kg rund)	36,05	36,05	0,00
Prodkost resultat kr/kg	36,46	38,76	-2,30
Justert pris smålaks sløydvekt kr/kg	36,70	40,39	-3,69
Ny beregnet prodkost kr/kg	36,70	40,39	-3,69
Effekt av smålakspris på prodkost kr/kg	-0,24	-1,63	-1,39

4.6. Diskusjon

Produksjons- og økonomimodellen for å analysere sammenhenger mellom biologiske og økonomiske prestasjoner er videreutviklet for BP2, inkludert modellering av pris. I AQT3 er det betydelige forskjeller fra konvensjonell teknologi på mange områder og med betydelige effekter på prodkost, pris og marginer.

Kontrollmerda er kalibrert til å gi en prodkost lik gjennomsnittet for Trøndelag for 2019 med NOK 38,76 per kg. Med den samme «kalibreringen» for AQT3 (samme kronebeløp) gir det en prodkost på 36,46, altså en lavere prodkost med NOK -2,30 per kg. Kontrollmerda har en snittpris marginalt over NASDAQ for 2019 med 58,00 (høyere slaktevekt), mens AQT3 har en snittpris på 53,09 (-NOK 4,91) grunnet lavere slaktevekt og utfordringer med kvalitet.

Investeringer med tilhørende avskrivninger, renter og forsikring er naturlig nok høyere for AQT3 og gir samlet en økt prodkost på NOK 3,27. I og med at tetthet er økt i AQT3 er investeringskost per kg solgt laks redusert noe vs. BP1. Dersom tetthet kan økes videre vil investeringskost per kg reduseres ytterligere.

De biologiske forskjellene er betydelige og er både positive og negative for AQT3. Enkelte av de biologiske forskjellene er tilfeldige og kan ikke relateres til teknologien. Effektene av biologi er NOK 0,25 økt prodkost i AQT3 og en betydelig redusert pris med NOK -3,13 og samlet en «biologisk effekt» med NOK -3,38 redusert margin i AQT3 vs. KTR. I den samlede «biologiske effekten» endres total produksjon slik at det ikke er eksakt sammenlignbart med faktisk totalproduksjon.

Dødelighet er lavere i AQT3 og med lavere registrert vekt på dødfisken, dette gir en samlet redusert prodkost med NOK -0,94 i AQT3 vs. kontrollmerda. Noe av denne forskjellen i dødelighet kan relateres til mer avlusing i kontrollmerda, avlusing skjer i stor grad på stor fisk med dertil høy snittvekt på dødfisken.

Slaktevekt er lavere i AQT3 og dette har en betydelig effekt på både produsert mengde og redusert pris. Dette har delvis sammenheng med en gradvis utprøving av tetthet og teknologi. Når en har en trygghet i kontroll av merdmiljø, teknisk stabilitet og også ytterligere bedre kontroll på lus er det mulig å sette ut riktig antall fisk i forhold til produksjon slik at en kan slakte på planlagt størrelse.

Effekten av slaktevekt på pris bør det være mulig å fjerne og heller gjøre det enklere å produsere til planlagt størrelse i en enhet hvor lus forebygges bedre.

Kostnader til både forebygging og behandling av lus er lavere i AQT3 enn KTR med ingen kostnader brukt til forebygging (rensefisk og luseskjørt) og færre behandlinger, dette er utgjør samlet reduserte lusekostnader med NOK -3,00 per kg. Dersom lusebehandlinger reduseres ytterligere, vil det gi en videre reduksjon i kostnader og trolig også forbedrede biologisk prestasjoner.

Lønn er satt likt (totalsum) i de to enhetene, dette er ikke registrert i detalj og det er derfor noe usikkerhet i estimatet. Det rapporteres imidlertid om mindre behov for daglig tilsyn og vedlikehold i AQT3 enn i konvensjonell merd, på andre områder som styring av strømsettere kreves det mer tid fra operatører. Når teknologien er videre utviklet og stabilisert bør dette måles mer nøyaktig. Andre driftskostnader er samlet høyere i AQT3, men kan fordeles over flere kg.

Biologisk fôrfaktor er 0,05 enheter høyere i AQT3 enn i KTR, samtidig er fôrutnyttelse relativt lav også i KTR. Forskjellen utgjør en økt prokost med NOK 0,45 vs. KTR, og opp mot med NOK 1 vs. gode resultater i oppdrett. Det er satt inn større fisk i AQT3 og KTR enn i en standard produksjon, dette vil øke FCR. På sikt bør det være realistisk å utvikle metodikk som sikrer god fôrutnyttelse i Aquatraz hvor fôring potensielt bør kunne kontrolleres bedre enn i en åpen merd med not.

Det er lav kvalitet på solgt fisk fra AQT3 med 17% av biomassen nedklasset til prodA og 8% nedklasset til prodB samt høyere andel utkast enn i KTR, dette utgjør samlet reduserte marginer (pris) med NOK -4,90 per kg. En betydelig andel av nedklassinga skyldes kjønnsmodning og sår. Slaktetidspunkt er avgjørende for kjønnsmodning, og hvor AQT3 er slaktet senere. Kjønnsmodning påvirker fôrutnyttelse i form av næringsstoffer til gonader samt sultatap på fisk som ikke spiser. Normal kjønnsmodning hos laks trigges av korte daglengder midtvinters, hannfisk kjønnsmodner på en mindre størrelse en hofisk. I tillegg kan spesielt hannfisk kjønnsmodne spontant ved dårlige miljøforhold. Sår har som regel opprinnelse i mekaniske skader eller sår bakterier som *Moritella* og *Tenacibaculum*.

En vesentlig del av den solgte biomassen er kjøpt inn som smålaks til NOK 31,- per kg rundvekt, dette tilsvarer NOK 36,05 kr per kg sløydvekt. Dette er omtrent det samme som prodkost i AQT3 og vil dermed i mindre grad påvirke sluttresultat i AQT3. Pris på kjøpt smålaks sløydvekt er imidlertid NOK 2,71 under prodkost i KTR, kjøp av smålaks har derfor i en viss grad «subsidiert» produksjonen i KTR. Ved en simulert smålakspris på 34,74 levende vekt vil prodkost i KTR og pris (per kg sløyd) smålaks bli den samme med NOK 40,39 per kg. Det vil si at innkjøp av smålaks til 31,- per kg rundvekt reduserer prodkost i KTR med NOK -1,63 per kg, tilsvarende tall for AQT3 er NOK -0,24 per kg og Δeffekt er NOK -1,39 per kg.

Det er noe usikkerhet knyttet til antall fisk og snittvekt/ biomasse ved flytting av fisk inn i enheten. Dette gir videre usikkerhet i vurderinger av tilvekst og fôrutnyttelse (FCR) og effekt av disse. Samlet resultat må vurderes ut fra denne usikkerheten. I videre arbeid med biologiprogrammet for Aquatraz bør metodikk for å sikre bedre produksjonstall videreutvikles, dette som grunnlag for analyser. Dette gjelder spesielt inngående antall og snittvekt.

Det bør i videre utvikling av Aquatrazteknologien fokuseres på hvilke områder Aquatraz har størst potensiale til å forbedre de biologiske prestasjonene og dertil tilhørende økonomiske effekter. Ut fra resultatene i AQT1 og AQT3 synes potensialet størst for tilvekst, dødelighet, kontroll med lus, forbedring i fôrutnyttelse og bedring av kvalitet. Dersom en klarer å forbedre de biologiske prestasjonene slik at de blir gode og stabile er det et betydelig potensial til å utvikle Aquatraz til å bli en kostnadseffektiv teknologi. Forbedring i biologiske prestasjoner vil også gi bedre fiskevelferd og redusert klimaavtrykk.

5. Velferdsvurderinger

Av: Torolf Storsul, veterinær, Aqua Kompetanse AS

5.1. Formål og bakgrunn

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

5.2. Metodikk

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. Slik scoring ble gjennomført på 39, 40 eller 41 individer per merd og måned med unntak av mars 2020 da covid-19-situasjonen medførte at anlegget ikke tok imot besøk.

I juli 2020 ble det planlagt feil dato for målingen, og den siste fisken fra kontrollmerden var da allerede på slakteriet. Det ble da utført en individkontroll på nylig avlivet fisk på slakteriet, men dette ga for store avvik og målingen i juni er derfor den siste som er tatt med for disse gruppene.

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. To ulike vekter ble benyttet, og det var delvis utfordrende å få vekten til å stabilisere seg og vise entydig resultat på grunn av ustabilit underlag og vind. Det ble ventet til vekten indikerte stabilitet, likevel kan det være litt feilmargin på vektresultatene.

Fiskehelsebiolog Marte Fjær utførte den første kontrollen, resterende kontroller er utført av 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 dataverktøy. Bruken av denne appen har også forenklet grafisk framstilling av resultatene.

Benyttede operative velferdsindikatorer er basert på; «Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd», del B kapittel 6 som omhandler semilukkede anlegg, erfaringer i MNH og kunnskap om Aquatrazmerden med vannutskiftning og strømsettere.

Følgende parametre 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 (VI) er scoret etter Fishwell-standarden med skala fra 0 til 3 for alle indikatorer med unntak av katarakt som spenner fra 0 til 4. Score 0 angir ingen anmerkninger, deretter stiger alvorlighetsgraden med økende tallverdi. Plansjer hentet fra boka «Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd» er brukt ved tvil om scoring.

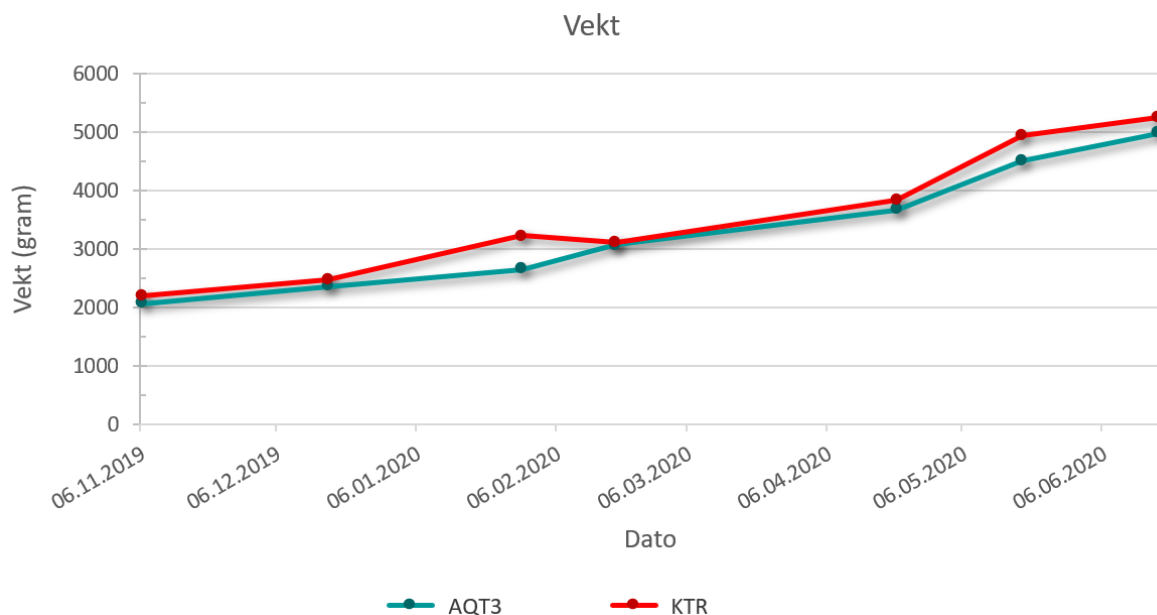
Ved scoringen er det praktisert en høy terskel for å gi score 0, det betyr at små finnesplittelser som man finner på en svært stor andel oppdrettslaks har gitt score 1. Likeledes er det vanskelig å håve opp fisk til undersøkelse uten at det oppstår noe skjelltap. For fisk med score 1 på skjelltap kan dette derfor være relatert til håndtering ved undersøkelsen.

5.3. Resultat og diskusjon

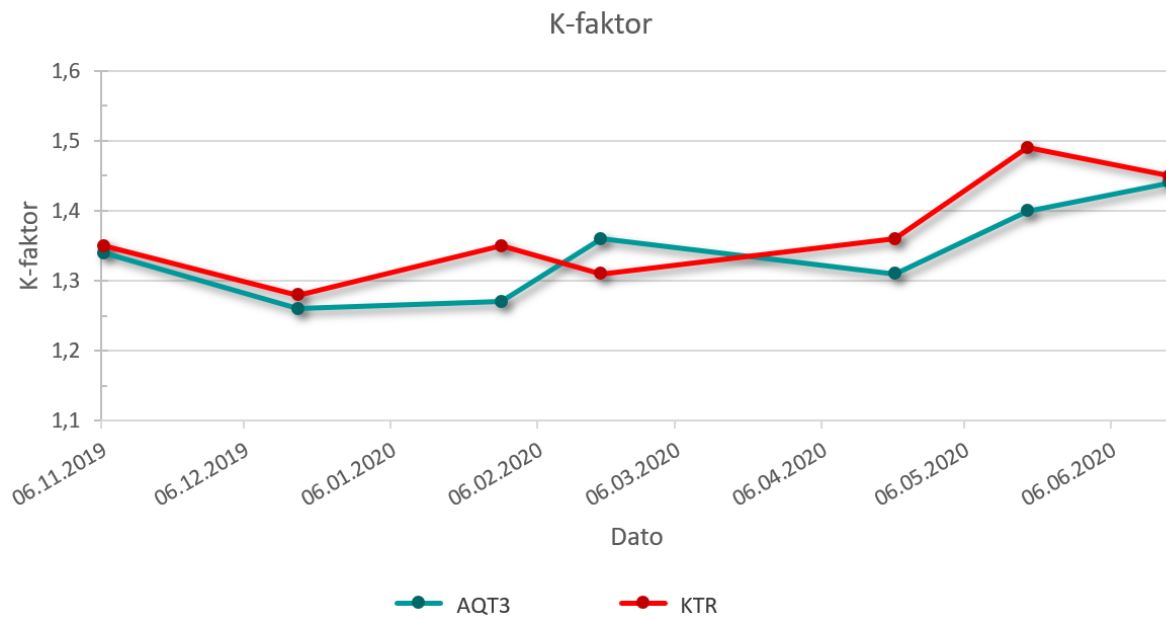
Generelt kan det bemerkes at det er gjort anmerkninger på velferdsscoreningene som er forenlig med skader relatert til håndtering/avlusing, spesielt for skjelltap og hudblødninger ser man slike utslag. Videre er det noen utslag for sår. Også dette kan være relatert til håndtering og avlusing, se kommentar om ekstra håndtering av om lag to tredjedeler av fiskene i Aquatrazmerdene i kapittel 7. Det var flere avlusinger i kontrollmerden, og det ble da sett forhøyet score for sår i etterkant.

Ut over dette er det stort sett anmerkninger som er lavgradige. En nærmere gjennomgang av enkelte velferdsscoringer med fordeling på de ulike scoringsverdiene er også gjengitt i kapittel 12, slaktedata, der velferdsscoringer og nedklassing ved slakt er sammenholdt.

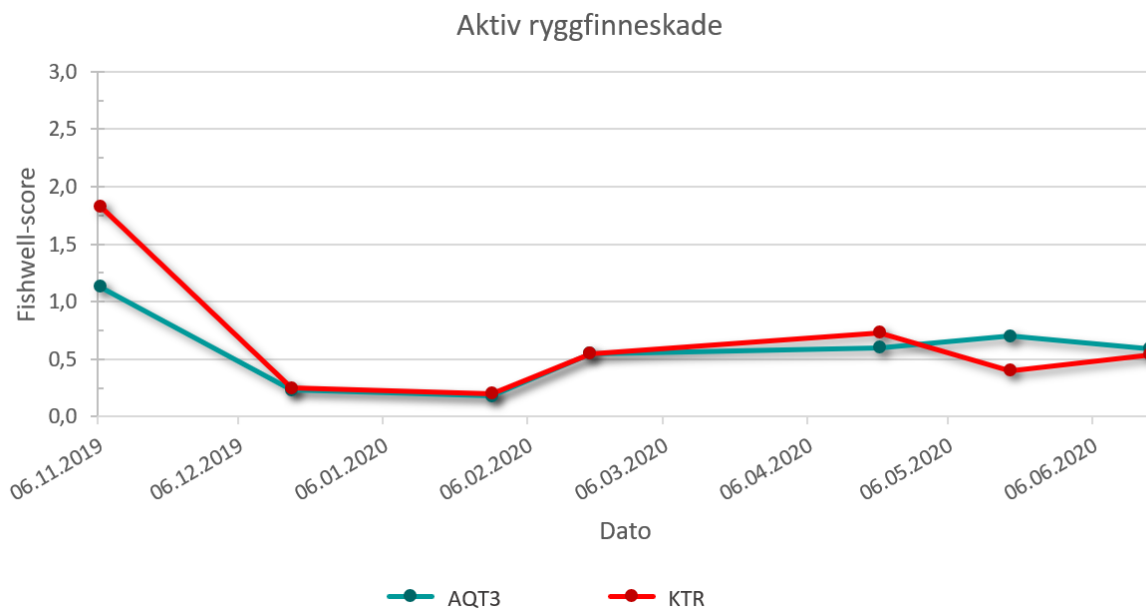
Vekt, k-faktor og noen utvalgte velferdsindikatorer er angitt med gjennomsnittsverdier i figur 5.1 til og med 5.6. Resterende undersøkelser er oppsummert i tabellform i kapittel 14, vedlegg.



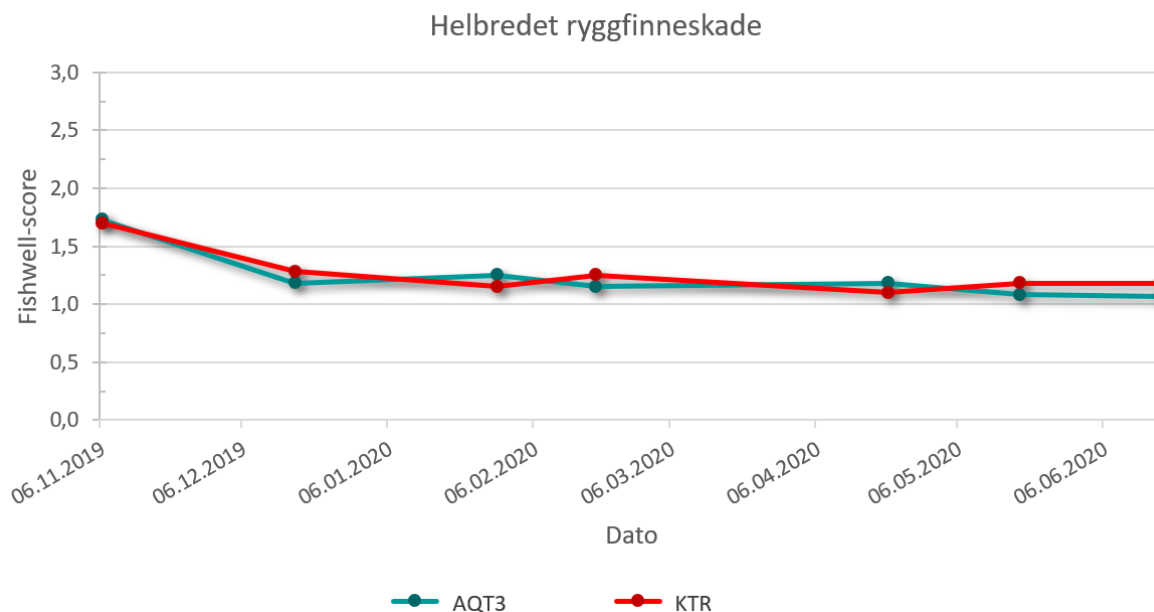
Figur 5.1: Gjennomsnittlig vekt registrert samtidig som OVI.



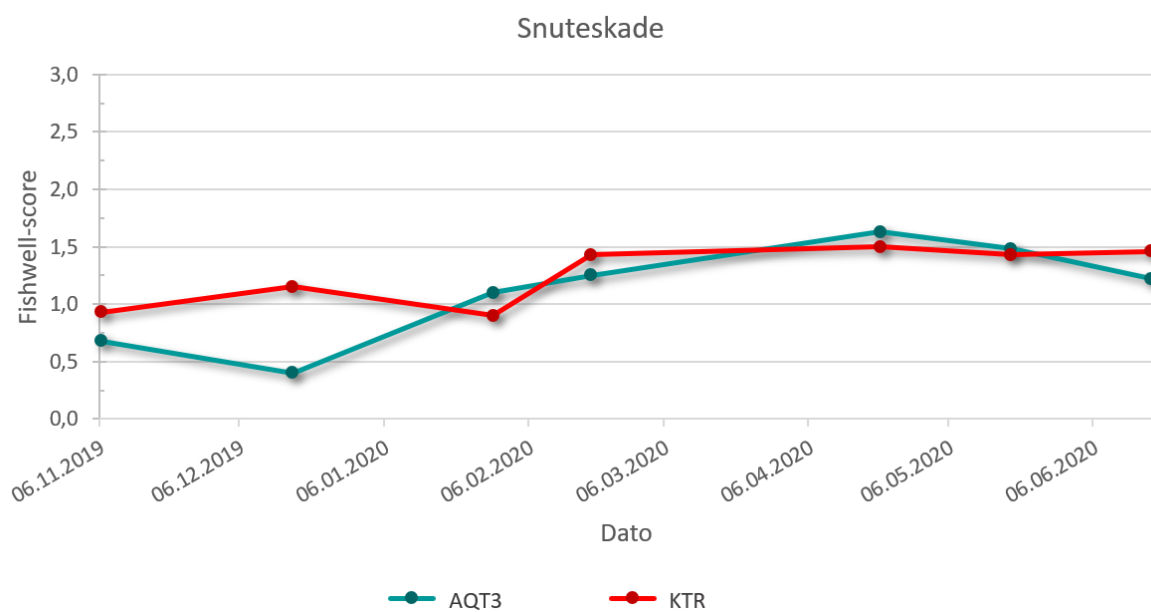
Figur 5.2: Gjennomsnittlig k-faktor beregnet fra vekt og lengde registrert samtidig som OVI.



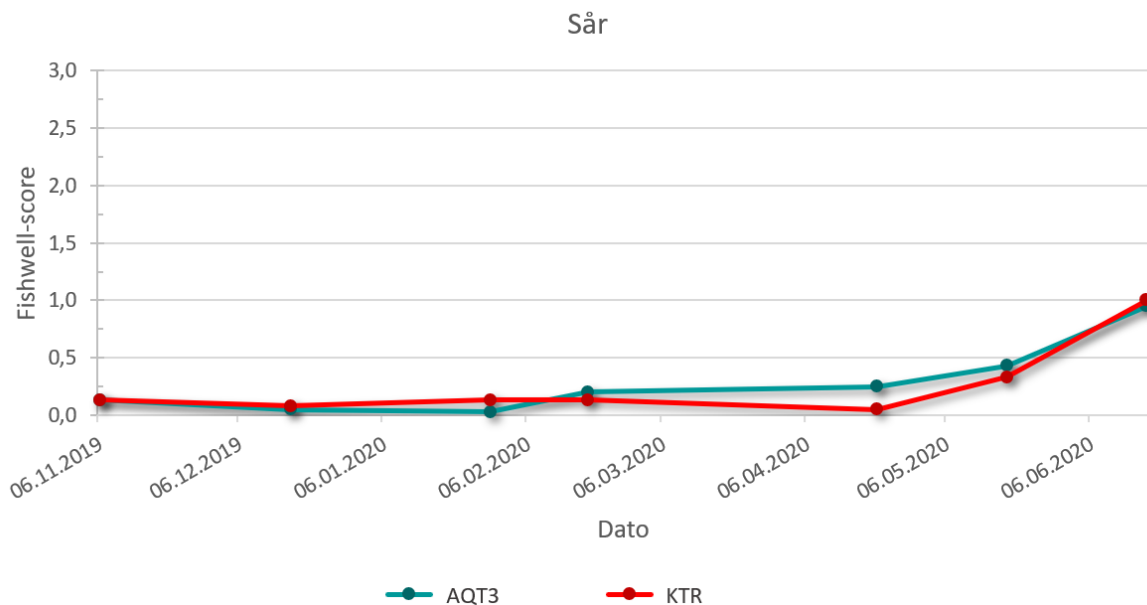
Figur 5.3: Gjennomsnittlig Fishwell-score for aktiv ryggfinneskade registrert som en OVI. Skala fra 0 (liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelse av denne VI) til 3 (omfattende/ alvorlig grad). Merk at håving av fisk for undersøkelsen kan gi skader på noen individer som klassifiseres som grad 1.



Figur 5.4: Gjennomsnittlig Fishwell-score for helbredet ryggfineskade (avhelet) registrert som en OVI. Skala fra 0 (liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelse av denne VI) til 3 (omfattende/ alvorlig grad).



Figur 5.5: Gjennomsnittlig Fishwell-score for snuteskade registrert som en OVI. Skala fra 0 (liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelse av denne VI) til 3 (omfattende/ alvorlig grad).



Figur 5.6: Gjennomsnittlig Fishwell-score for sår registrert som en OVI. Skala fra 0 (liten eller ingen tegn på negativ tilstedeværelse av denne VI) til 3 (omfattende/ alvorlig grad).

Innslag av ryggdeformitet ble detektert i siste del av produksjonen. Denne fisken ble vaksinert mot PD før utsett, og 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 pågående prosjekter som undersøker dette nærmere.

I tillegg til de velferdsindikatorene som er beskrevet i programmet ble det observert kjønnsmodning i begge gruppene. Begynnende kjønnsmodning ble observert på 8 av 20 undersøkte fisk fra AQT3 og KTR, allerede 18. juni 2020. Fisker fra AQT3 ble igjen undersøkt 27. juli 2020, da var 23 av 25 fisk i kjønnsmodning, og 4 av de 23 var hunnfisk i kjønnsmodning. Slaktedata viser lavere andel kjønnsmodning, noe som sannsynligvis skyldes et lite utvalg under testene og at utvalget som ble håvet opp ikke var representativt for populasjonen i merden. Samtidig gir observasjonene av betydelig kjønnsmodning allerede i juni grunnlag for å anta at kjønnsmodningsprosessen var kommet langt allerede da.

Resultatene viser ingen store forskjeller mellom fiskene i Aquatrazmerden og fiskene i kontrollmerden. Materialet gir derfor ikke grunnlag for å anta at det eksisterer systemforskjeller knyttet til operative velferdsindikatorer på individnivå mellom merdsystemene. Utvalgsmetodikken og det lave antallet undersøkte fisk ved hver scoring gir begrensninger ved bruk av en statistisk tilnærming. Likevel gir både gjennomsnittresultater og sammenligning med slaktedata grunn til å tro at velferdsscoren ga en god pekepinn på fiskens status for de utvalgte velferdsindikatorene, samt at det gir et brukbart sammenlikningsgrunnlag for fiskegrupper som holdes i ulike enheter.

6. Helseovervåking med vekt på gjellehelse og hjertehelse

Av: Alf S. Dalum, DVM PhD, PatoGen AS

6.1. Formål og bakgrunn

Gjellehelsen er en stadig økende utfordring innen akvakultur, og avvikende gjellehelse er en viktig faktor bak dødelighet og nedsatt prestasjon hos oppdrettsfisk. Mens hovedfokus kan sies å ha vært betydningen av infeksjøs agens, er betydningen av ikke-infeksjøs faktorer mindre kjent og trolig undervurdert. Et eksempel på dette er ulike planktonformer som kan føre til omfattende gjelleskader. Videre kan plankton gi store døgnvariasjoner i oksygen- og karbondioksidnivå, samt gi mekanisk tilstopping av gjellevevet uten å gi direkte vevsskade. De største planktonkonsentrasjonene finnes oftest nær overflaten. Ved tilførsel av vann fra et større dyp vil planktonkonsentrasjonen teoretisk sett bli lavere, noe som forventes å gi reduserte problemer med gjelleskader, og dermed en generelt bedret gjellehelse. Dette strømbildet vil også kunne påvirke spredningsdynamikken av andre potensielt skadelige agens. En annen faktor er at økt strømningshastighet på vannet i merden vil kunne gjøre det lettere for fisken å opprettholde passiv vannstrøm over gjellene (passiv respirasjon) noe som kan ha rensende effekt på gjellevevet.

Fisk behøver som oss mennesker å være i god fysisk form for å oppnå god hjertehelse. Med Aquatraz-konseptet skal man i løpet av den totale prosjektperioden sette opp en sirkulær vannstrøm som man kan regulere og kontrollere hastigheten på, tilpasset laksens størrelse og tilstand. Dette betyr at man kan «trene» fisken til å bli i god form.

På AQT3 (AG2) var det 4 strømsettere som bidro til å rotere vannet i merden og derigjennom hente opp nytt friskt vann. Dette, samt at Aquatrazmerden har et solid og tett stålskjørt som ikke deformeres av vannstrømmen og at den har et betydelig fribord, er vesentlige endringer sammenlignet med konvensjonelle merder og samlet ga dette grunn til å tro at man kunne få ulikheter mellom de to produksjonssystemene.

I denne delen av programmet benyttes morfologiske metoder for å vurdere en eventuell forskjell mellom AQT3 og KTR i gjelle- og hjertehelse ved hjelp av kvalitative, semi-kvantitative og kvantitative målinger. I det følgende gis en oppsummering av gjennomførte analyser i biologiprogram 2.

6.2. Oppsummering av resultater og funn

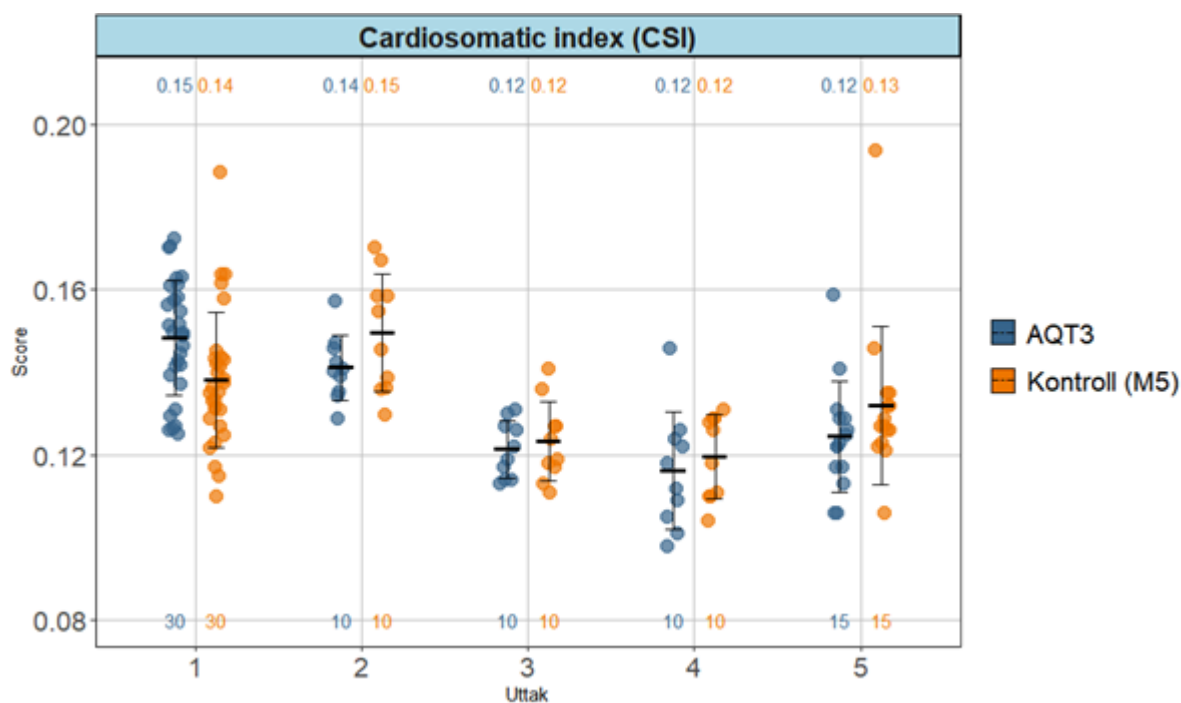
6.2.1. Hjertehelse

Størrelsen av hjertet relativt til fiskens kroppsvekt ble vurdert ved hjelp av kardiosomatisk indeks (CSI) og relativ ventrikelmasse (RVM) etter følgende formler:

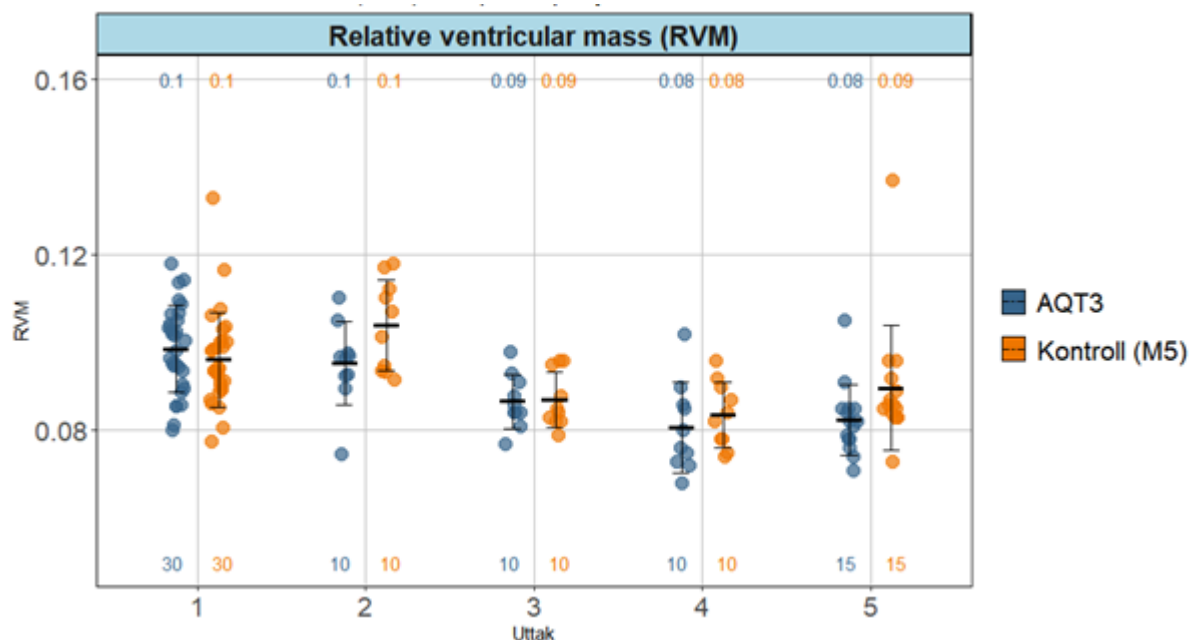
$$CSI = \frac{\text{Vekt av hjerte (atrium, ventrikkel og bulbus arteriosus) (g)}}{\text{Vekt av fisk (g)}} \times 100$$

$$RVM = \frac{\text{Vekt av hjerte (fridissekert ventrikkel) (g)}}{\text{Vekt av fisk (g)}} \times 100$$

Det var ikke mulig å påvise statistisk forskjell i hverken CSI eller RVM mellom AQT3 og KTR. Det ble observert en gradvis avtakende CSI og RVM fram til 5. prøveuttak, hvor det igjen var en trend i økning av CSI og RVM for både AQT3 og KTR.



Figur 6.1: Grafisk framstilling av utvikling av kardiosomatisk indeks (CSI) gjennom forsøksperioden.



Figur 6.2: Grafisk framstilling av utvikling av relativ ventrikkelmasse (RVM) gjennom forsøksperioden.

Relativ hjertestørrelse/ kardiosomatisk indeks (CSI) ble målt både i forbindelse med del 10 (produktkvalitet) og del 6 (helseovervåkning med vekt på gjellehelse og hjertehelse). I del 10 ble det påvist signifikant større CSI for fisk fra AQT for uttak fra mars 2020 og mai 2020 (se figur 10.3), mens det for del 6 ikke var mulig å påvise statistisk signifikant forskjell i CSI mellom AQT og KTR for noen av uttakene (november 2019, februar 2020, mai 2020, juni 2020 og juli 2020; se figur 6.1). Årsaken til denne forskjellen er ikke avklart, men følgende faktorer mistenkes å kunne spille inn:

- Ulike fisk ble undersøkt for de ulike delene, og det er mulig at dette kan forklares ut fra individuelle forskjeller.
- For del 10 ble det etterstrebet å ta prøver fra et nøye selektert materiale hvor vekten på fisk valgt ut til prøvetakning skulle ligge innenfor et bestemt vektintervall. Samme kriterium ble ikke satt for fisk i del 6. Det var følgelig en forskjell i seleksjon.
- For del 6 ble rundvekt for fisk målt ved prøvetakning ute i felt, mens for del 10 ble rundvekt målt i kontrollerte omgivelser på laboratorium. Det er derfor mulig at målefeil ute i felt (fuktighet fra fisk, egenbevegelse i vekt ute på båten) kan ha spilt inn på verdiene som er beregnet i del 6.

Med bakgrunn i dette vurderes målingene av CSI fra del 10 som mer pålitelige enn fra del 6, og målingene fra del 10 bør ved sprikende resultater derfor tillegges mest vekt. Ved å tillegg målingene fra del 10 mest vekt fremkommer en statistisk signifikant høyere CSI for fisk fra AQT. Disse vurderingene og denne konklusjonen har framkommet i samråd mellom ansvarlig for del 10, ansvarlig for del 6 og ansvarlig for prøveuttak og del 5. Som et resultat av denne forskjellen vil all fisk både for del 6 og del 10 i neste biologiprogram veies på laboratorium.

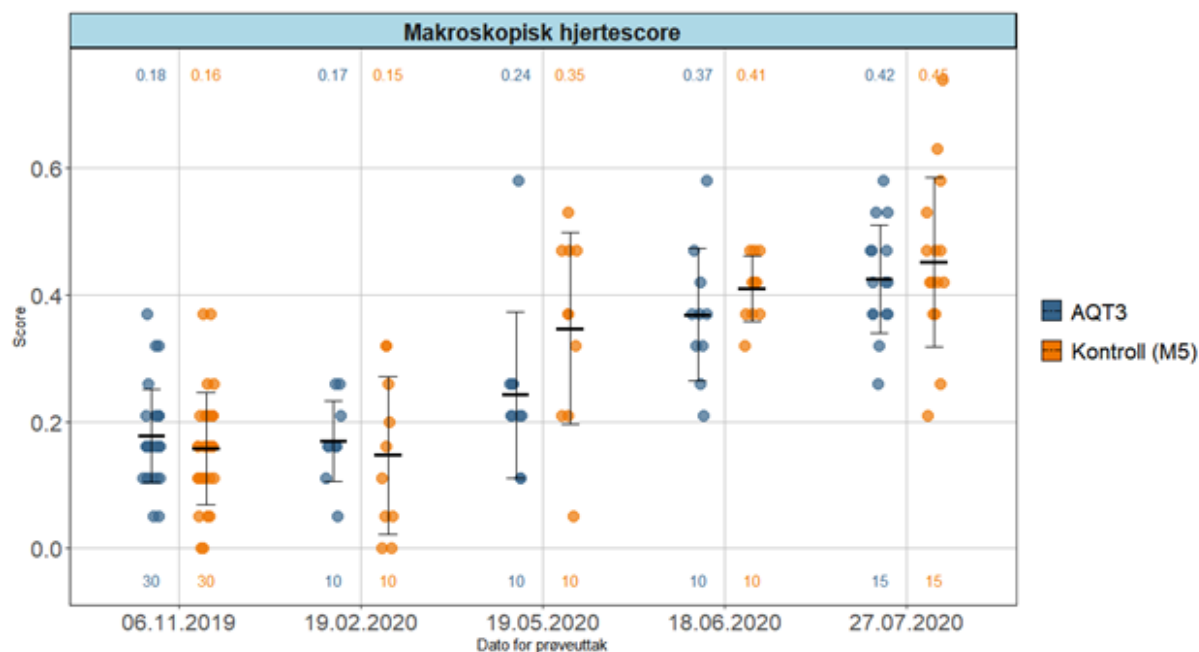
Videre ble hjertene vurdert makroskopisk etter kriterier utarbeidet i tidligere biologiprogram (se tabell 6.1). Det understrekes likevel at denne metoden er under utvikling, og egnetheten av nåværende parametere er ikke validert eller verifisert. Det understrekes også at vurderingen gjennomføres manuelt, noe som betyr at det må forventes en viss grad av subjektivitet i vurderingene. Det er derfor en målsetning å utvikle og ta i bruk en modell for maskinlesing for en mer objektiv vurdering. I forbindelse med vurderingen har samtlige hjerter blitt fotografert i fire plan,

og disse bildene er arkivert for eventuell senere re-analyser. Kriteriene som inngår i nåværende modell er som følger:

Tabell 6.1: Scoringsparametere som inngår i modell for makroskopisk vurdering av hjerte. Man scorer hver variabel fra 0 (ingen forandringer), til 1 (mild grad av avvik) og 2 (moderat til omfattende grad av avvik), og makroskopisk score beregnes som gjennomsnitt av samtlige score.

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

Det var ikke mulig å påvise forskjell i makroskopisk score mellom AQT3 og KTR for hvert uttak, men det var en markant trend med økning i score (økende grad av avvik) som en funksjon av tid i sjø, som vist i figur 6.3.



Figur 6.3: Grafisk framstilling makroskopisk hjertescore/ grad av morfologisk avvik fra idealfasong. For siste uttak ble KTR tatt ut 23.07.2020 og AQT3 tatt ut 27.07.2020.

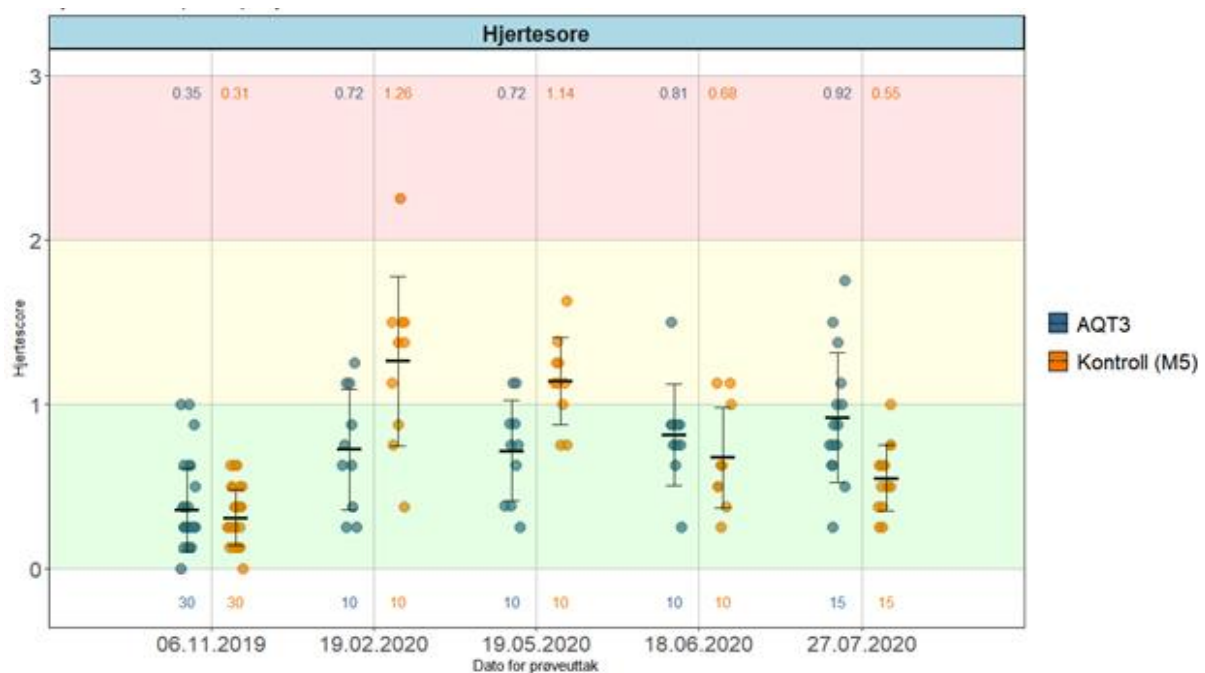
Betydningen av denne trenden er ikke sikker og må vurderes med forsiktighet. Likevel så er det kjent at hjertet hos oppdrettsfisk ikke gjennomgår kompensatorisk hjertevekst på samme måte som villfisk i smoltifiseringsfasen. Det er derfor grunn til å tro at hjertet til oppdrettsfisk utsettes for betydelig økt stress i forbindelse med overgang til sjøfasen. Et slik stressnivå vil gi en oppregulering av betennelsesmediatorer, som igjen mistenkes å kunne påvirke både betennelsesbildet i hjertevevet samt makroskopisk morfologi. Selv om denne teorien ikke er verifisert kan den være en mulig forklaring for den avvikende hjertemorfologien som ofte observeres hos oppdrettsfisk.

Videre ble hjertene vurdert histologisk. I den histologiske vurderingen vurderes forkammer (atrium), det spongiøse lag av ventrikkelen, det kompakte lag av ventrikkelen, og epikard hver for seg, og hver del gis en score på enten score 0 (ingen forandringer), score 1 (milde forandringer), score 2 (moderate forandringer), eller score 3 (omfattende forandringer). Hjertescore beregnes som et gjennomsnitt av score for hver variabel: minimum score: 0, maksimum score: 3. I produksjonssyklusen ble det påvist infeksjon av populasjonen med SAV2, noe som antas å kunne ha innvirkning på hjertehelse vurdert ut fra histologi.

Tabell 6.2: Oppsummering av hovedtrender observert ved histologisk analyse av hjerte.

Oppsummering av hovedfunn histologi, hjerte	
1. UTTAK	AQT3: Få funn, hovedsakelig i epikard KTR: Få funn, hovedsakelig i epikard
2. UTTAK: mest forandringer i KTR	AQT3: Dominerende grad av betennelse i epikard og spongiøst lag av ventrikel KTR: Betennelse av mild grad i samtlige lag
3. UTTAK: mest forandringer i KTR	AQT3: Dominerende grad av betennelse i spongiøst lag, men også noe forekomst i øvrige lag KTR: Jevn forekomst i spongiøst lag, atrium og epikard.
4. UTTAK: relativt likt	AQT3 og KTR: Jevn forekomst av betennelse i spongiøst lag, atrium og epikard.
5. UTTAK: mest forandringer i AQT3	AQT3: Jevn forekomst av betennelse i alle lag (pankarditt) KTR: Dominerende forandringer i epikard

Det var en trend med høyere hjertescore for AQT3 i siste uttak sammenlignet med KTR, men forskjellen var ikke signifikant.

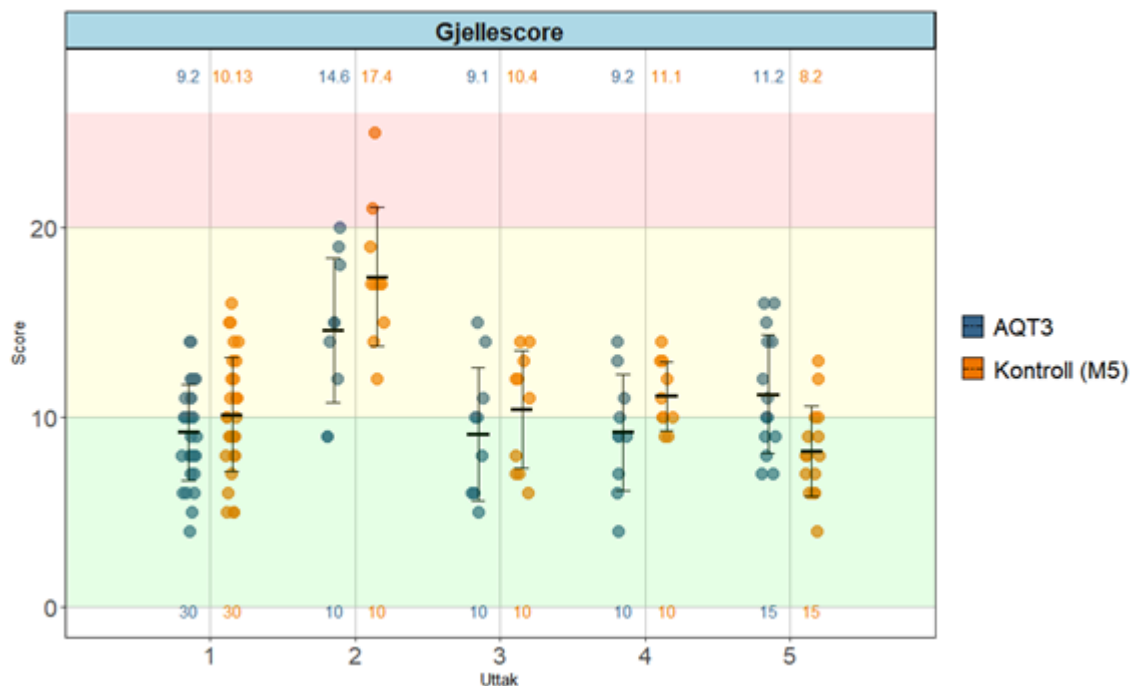


Figur 6.4: Grafisk framstilling histologisk hjertescore. For siste uttak ble KTR tatt ut 23.07.2020 og AQT3 tatt ut 27.07.2020.

6.2.2. Gjellehelse

Gjellehelse ble vurdert histologisk både kvalitativt og semikvantitativ ved hjelp av en gjellescore. I gjellescoren vurderes grad av vevsforandringer delt opp etter de ulike vevsresponsene som er kjent å kunne oppstå i gjellevev på følgende måte: score 0 (ingen forandringer), score 1 (forandringer i opp

mot 10% av snittflaten), score 2 (forandringer mellom 10-50% av snittflaten), score 3 (forandringer i over 50% av snittflaten). Videre deles kategoriene i to grupper: gruppe 1 (forandringer som antas å være av mindre betydning for gjellefunksjon og som vanligvis leges raskt, og gruppe 2 (forandringer som antas å ha større betydning for gjellefunksjon eller kroppsfunksjon og som tar lengre tid å leges – vektet med en faktor på 2). Gjellescoren beregnes som summen av score for hver kategori (og eventuelt vektet for gruppe 2). I den endelige gjellescoren anses score opp mot 10 som milde forandringer, over 10 til og med 20 som moderate forandringer, over 20 som omfattende forandringer.



Figur 6.5: Grafisk framstilling histologisk gjellescore. For siste uttak ble KTR tatt ut 23.07.2020 og AQT3 tatt ut 27.07.2020.

Totalt sett var det en noe høyere gjellescore for AQT3 sammenlignet med KTR ved siste uttak, men forskjellen var ikke signifikant. En mulig forklaring på denne forskjellen kan trolig ligge i forskjellen mellom forekomst av infeksjøs agens, og i påfølgende tabell framstilles hovedfunn fra kvalitativ vurdering av observerte agens.

Tabell 6.3: Oppsummering av hovedtrender observert ved histologisk analyse av gjeller.

Oppsummering av hovedfunn histologi, gjeller	
1. UTTAK	Få funn og kun av uspesifikk karakter, likt mellom gruppene
	AQT3: <u>Costia</u> (8/10) med beskjedent- (1/10), mild- (6/10) til moderat- (1/10) grad <u>Epiteliocyster</u> (1/10) av beskjedent grad, <u>Paranucleosporose-lignende</u> forandringer (9/10) med mild- (8/10) til moderat- (1/10) grad.
2. UTTAK: noe høyere score for KTR	KTR: <u>Costia</u> (5/10) med mild grad, <u>Epiteliocyster</u> (3/10) med beskjedent- (1/10) til mild- (2/10) grad, <u>Paranucleosporose-lignende</u> forandringer (7/10) med beskjedent- (1/10), mild- (1/10), moderat- (3/10) til omfattende- (2/10) grad.
3. UTTAK: likt mellom gruppene	AQT3: <u>Costia</u> (8/10) med beskjedent- (1/10), mild- (2/10) til moderat- (2/10), til uttalt- (3/10) grad. KTR: <u>Costia</u> (9/10) med beskjedent- (1/10), mild- (2/10) til moderat- (6/10) grad
4. UTTAK: likt mellom gruppene	AQT3: <u>Costia</u> (5/10) med beskjedent- (1/10), mild- (2/10) til moderat- (2/10) grad. KTR: <u>Costia</u> (8/10) med mild- (4/10) til moderat- (2/10), til uttalt- (2/10) grad.
5. UTTAK: noe høyere score for AQT3	AQT3: <u>Costia</u> (3/15) med mild- (1/10) til uttalt (2/10) grad <u>Epiteliocyster</u> (5/15) med beskjedent- (4/10) til mild (1/10) forekomst. I tillegg: <u>partikkelskader</u> med mistanke om fôrpartikler (3/15) KTR: Kun funn av uspesifikk karakter.

7. Lakselus

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

7.1. Formål og bakgrunn

Et observatørstudium av lakselus er utført som en del av biologiprogrammet, for å undersøke følgende påstand: Det er ingen signifikant forskjell i påslagsfrekvens og utvikling av lus i en Aquatrazmerd (AQT3) i forhold til en tradisjonell oppdrettsmerd (KTR).

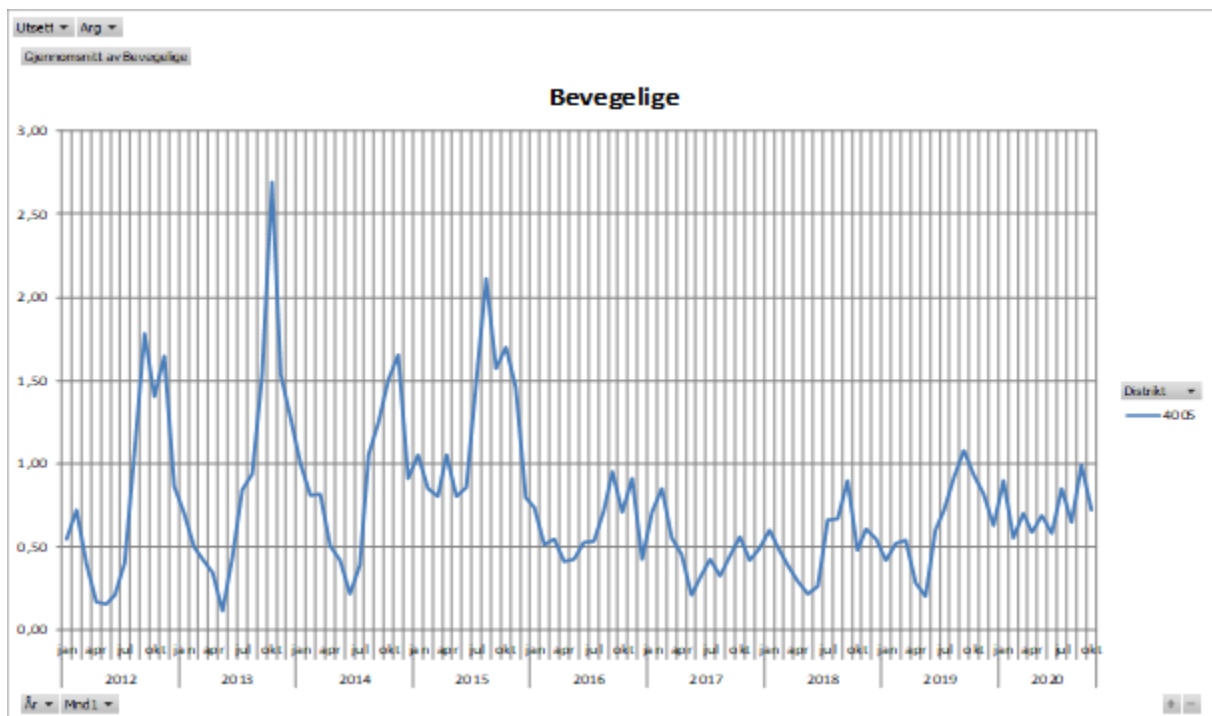
Forsøket ble startet i månedsskiftet oktober-november 2019. Da ble alle fiskene i merd 4 og merd 10 overført til AQT3. Fiskene i merd 13 ble overført til merd 5 som ble kontrollmerd (KTR).

Forsøket ble gjennomført med ukentlige lusetellinger i AQT3 og KTR. Av ulike grunner var det ikke tallet lus på 60 fisker per merd alle uker, slik som satt opp i programmet. På kontrollmerden var 4 av 31 vurderte tellinger utført på under 60 fisker, på AQT3 var 3 av 35 vurderte tellinger utført på under 60 fisker.

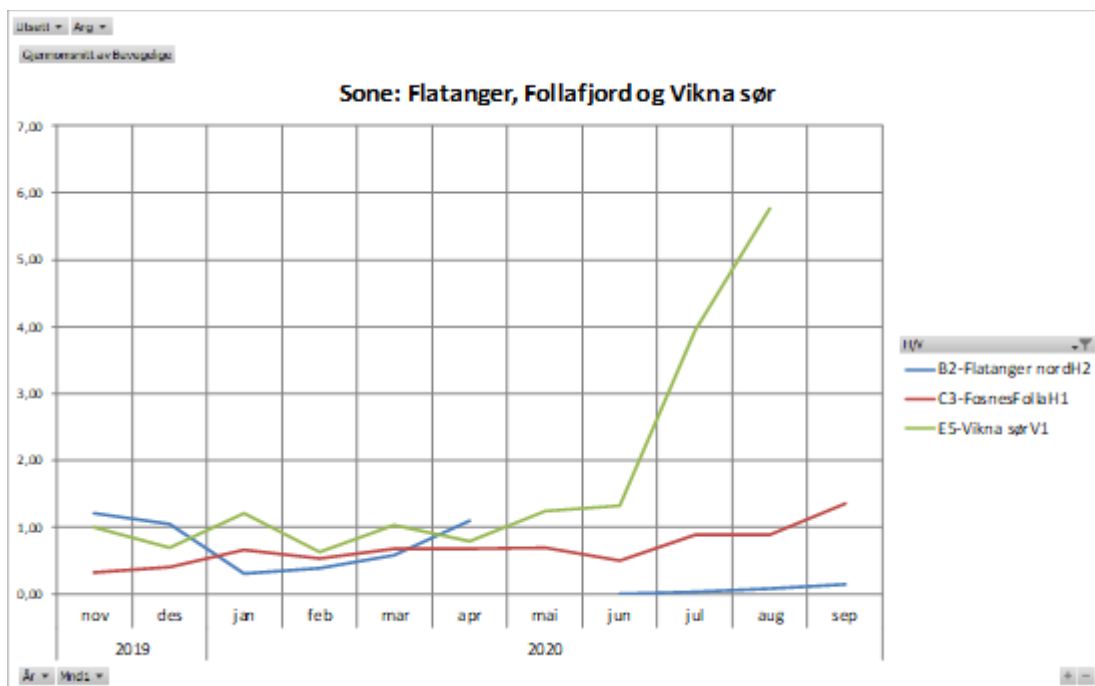
Det er en metodisk svakhet i design av forsøket ved at fisken allerede var betydelig eksponert for lus i perioden før forsøket startet. Det er også noe mangelfulle registreringer av skjørtbruk på kontrollmerden. Ut fra de nedtegnelsene som er gjort er det klart at det var skjørt på kontrollmerden fra 03.01.2020 til 17.04.2020. Det er sannsynlig ut fra det som er notert at skjørt ble satt på like før jul 2019 og at skjørt ble fjernet 17.04.2020.

7.2. Områdeinformasjon

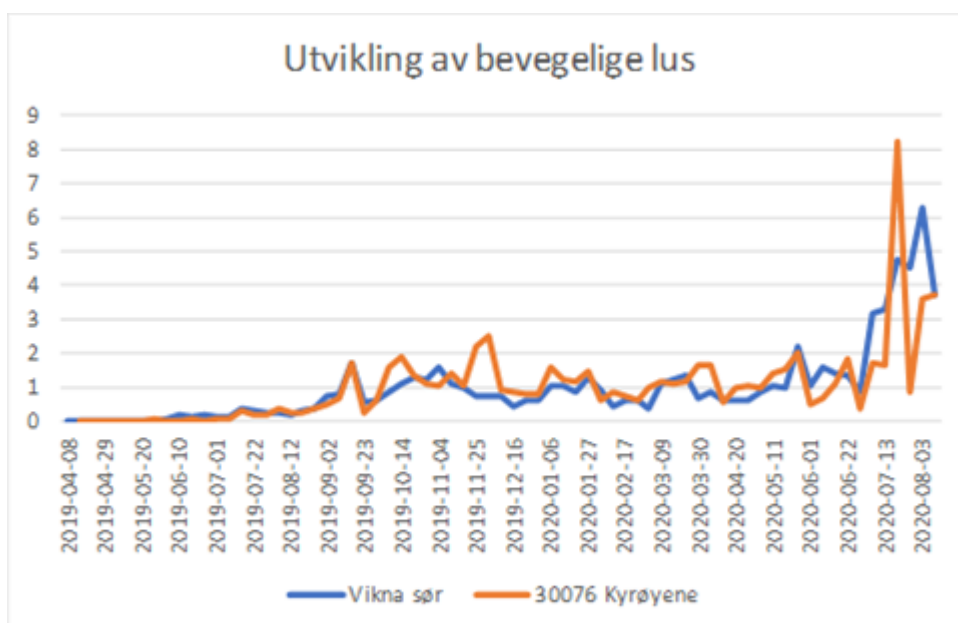
Ved vurdering av AQT3 sin prestasjon er det viktig å ha oversikt over situasjonen i det aktuelle området og den aktuelle sonen der forsøket pågår. Figur 7.1 til 7.3 beskriver lusesituasjonen i hele produksjonsområdet, i sonen hvor lokaliteten Kyrøyene ligger og for lokaliteten Kyrøyene sammenlignet med et snitt for sonen.



Figur 7.1: Oversikt over hele produksjonsområde 7. Selv om utfordringene har vært økende det siste året er situasjonen likevel langt bedre nå enn i problemårene fra 2012 til 2015.



Figur 7.2: Sammenligning av sone Vikna sør med sone Flatanger nord og sone Follafjord. Vikna sør har hatt en sterk økning av lus fra midten av juli. Det er delvis en påvirkning fra Flatanger i vårperioden, men det ser likevel ut som Vikna sør har produsert det meste av lusa selv i sommerhalvåret 2020.

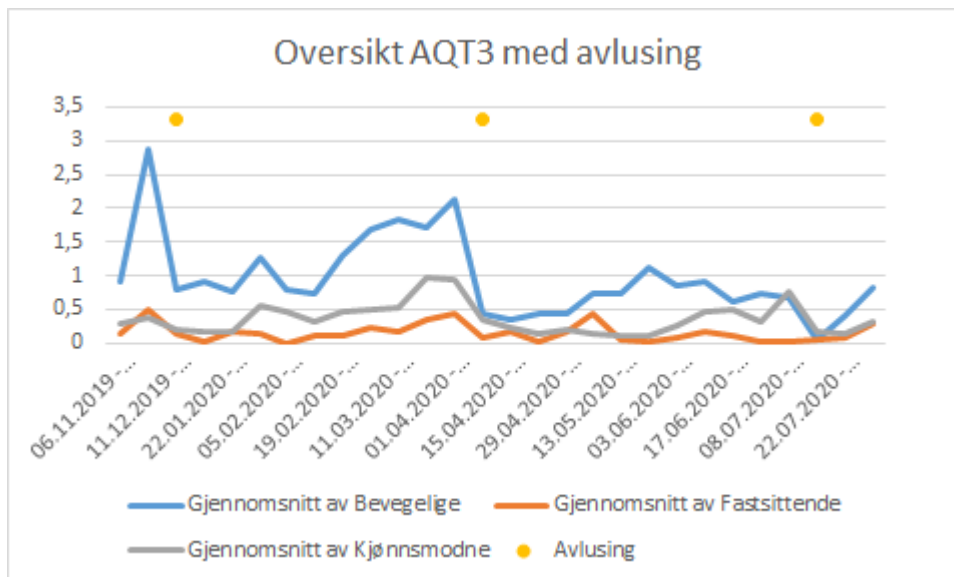


Figur 7.3: Sammenligning mellom sone Vikna sør og lokalitet Kyrøyene. Kurvene for Kyrøyene og resten av sonen er stort sett sammenfallende. Kyrøyene har noe høyere lusetall i perioden rundt innplassering i AQT3 og kontrollmerd.

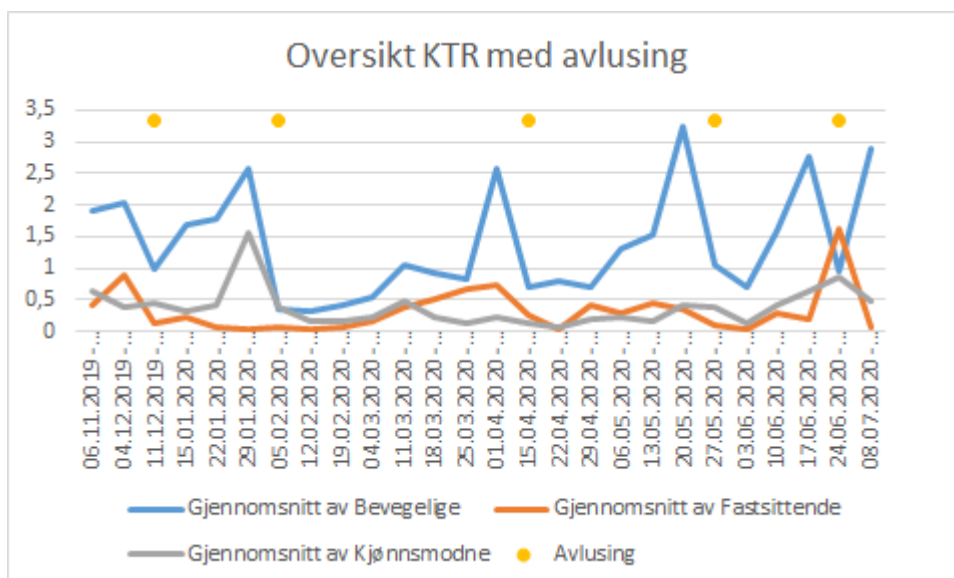
7.3. Resultater fra AQT3 og kontrollmerd

Oversikt over gjennomsnittstall fra lusetellinger på AQT3 og KTR er gitt i figur 7.4 og 7.5. I disse figurene er også avlusningstidspunktene markert, mens en nærmere oversikt over avlusninger er gitt i tabell 7.1. Smittepresset i sonen Kyrøyene ligger i (Vikna sør) er sammenlignet med tilsvarende smittepress i nabosonene Flatanger nord og Fosnes/Follafjord i figur 7.6. Her er det gjennomsnittstall

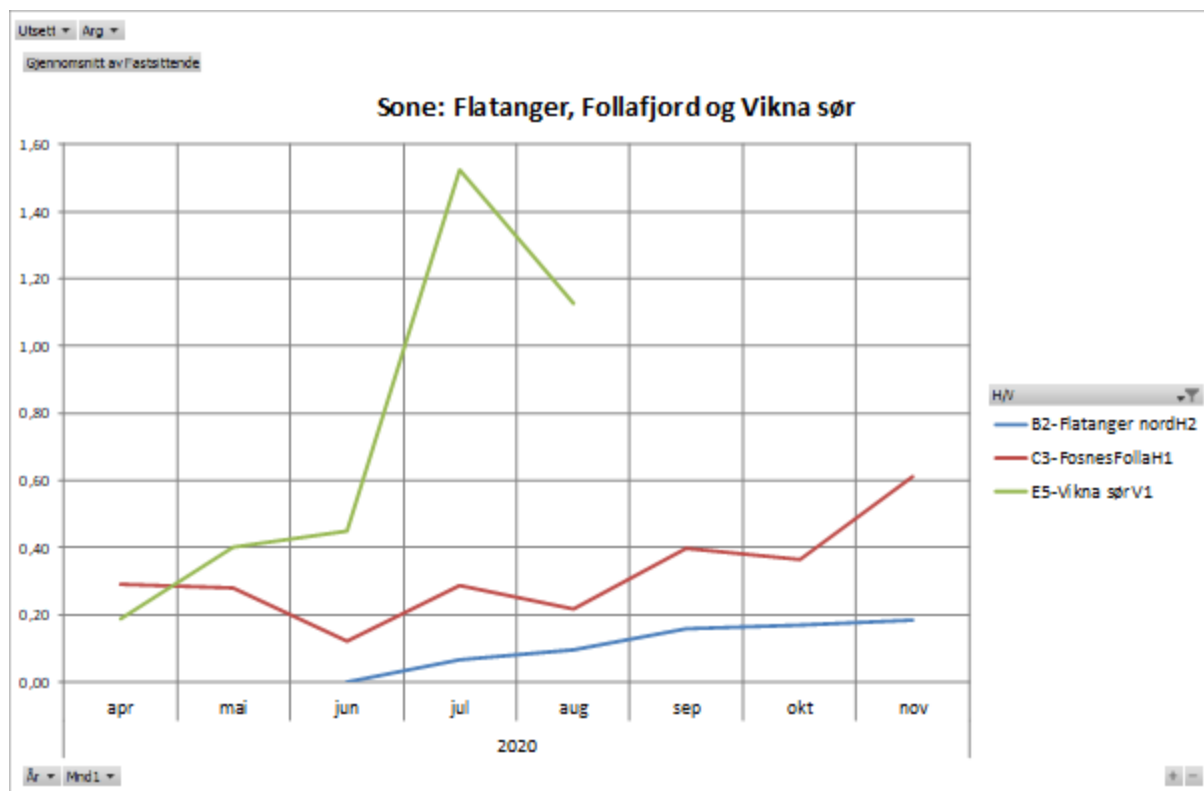
av fastsittende lakselus for alle lokaliteter som har rapportert lusetall i hver sone som er grunnlaget for tallene.



Figur 7.4: Luseutviklingen i AQT3. Legg merke til perioden fra april til august.



Figur 7.5: Luseutviklingen i kontrollmerden. Legg merke til perioden fra april til august.



Figur 7.6: Smittepress i Vikna sør og nabosoner.

Av spesielle forhold ved avlusing av Aquatrazmerder er det verdt å ta med seg følgende sitat fra tetthetsrapporten i Aquatrazprosjektet (Dokument nr. AQT-MNH-BIO-007):

«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 7.1: Oversikt over avlusinger etter overføring til AQT3 og KTR (M5).

Merd	Dato	Avlusingsmetode
5	13.12.2019	Optilicer
AQT3	15.12.2020	Optilicer
5	06.02.2020	Hydrolicer
AQT3	11.04.2020	Optilicer
5	17.04.2020	Hydrolicer
5	02.06.2020	Hydrolicer
5	30.06.2020	Hydrolicer
AQT3	15.07.2020	Hydrolicer

7.4. Akkumulert sammenligning

Registrert nivå av lus beskrevet innledningsvis, tilsier at de to driftsformene/merdene hadde ulikt utgangspunkt allerede fra forsøksstart. Dette svekker evnen til sammenligning når man benytter gjennomsnittsnivåene av lus i de to merdene fra uke til uke. Den påfølgende utviklingen av lus etter oppstart, kan både tilskrives ny lus utenfra, men også ulike vilkår for oppformering av lus inne i merdene må tas med i betraktning.

Siden driftsvariablene er såpass forskjellige (materialer, skjørtdybder og aktiv/passiv vannutskiftning) kan vi kun sammenligne «summen» de to driftskonseptene. Ytre påvirkninger som avlusing, flytting/håndtering, tilførsel av rensefisk og skjørt, vil ha påvirkning på antallet lus som registreres. I dette tilfellet var det ikke brukt rensefisk i AQT3 eller i KTR.

For å sammenligne de to ulike driftsformene kan man som et alternativ, se på den oppsummerte forskjellen mellom merdene over tid. Gjennomsnittlige lusetall presenteres som akkumulert over tid og forskjellen mellom merdene presenteres grafisk.

Følgende matematiske trinn er benyttet:

- Hver tellekategori av lus (fastsittende, bevegelige og kjønnsmodne hunner) akkumuleres / summeres i individuelle grafer per merd.
- Alle tall for AQT3 multipliseres med (-1) og de to kurvene plottes mot hverandre
- Den relative forskjell beskrives i en graf per stadium.
- Alle stadiene plottes sammen for å illustrere forskjeller i relativ totalproduksjon av lus.
- Avlusingstidspunkt inkluderes for å teste i hvilken grad avlusing påvirker de langsiktige trendene i registrering av lus.

Med stigende eller synkende graf vil det relative antallet lus synke eller øke sammenliknet med den andre merden. Hvis grafen flater ut, har det blitt registrert likt antall lus i begge merdene i samme periode. Skulle grafen krysse x-aksen vil man ha registrert like mye lus på gitte tidspunkt, selv om forløpet over tid kan utarte seg forskjellig, f.eks. at kontrollmerden har blitt avluset, men ikke Aquatrazmerden.

Ved å benytte akkumulerte tall vil telleusikkerhet og uke-til-uke tilfeldigheter reduseres, og man får en grafisk fremstilling som visuelt blir enklere å tolke. Det påpekes likevel at fremgangsmetoden er eksperimentell og må stå for forfatters egen regning.

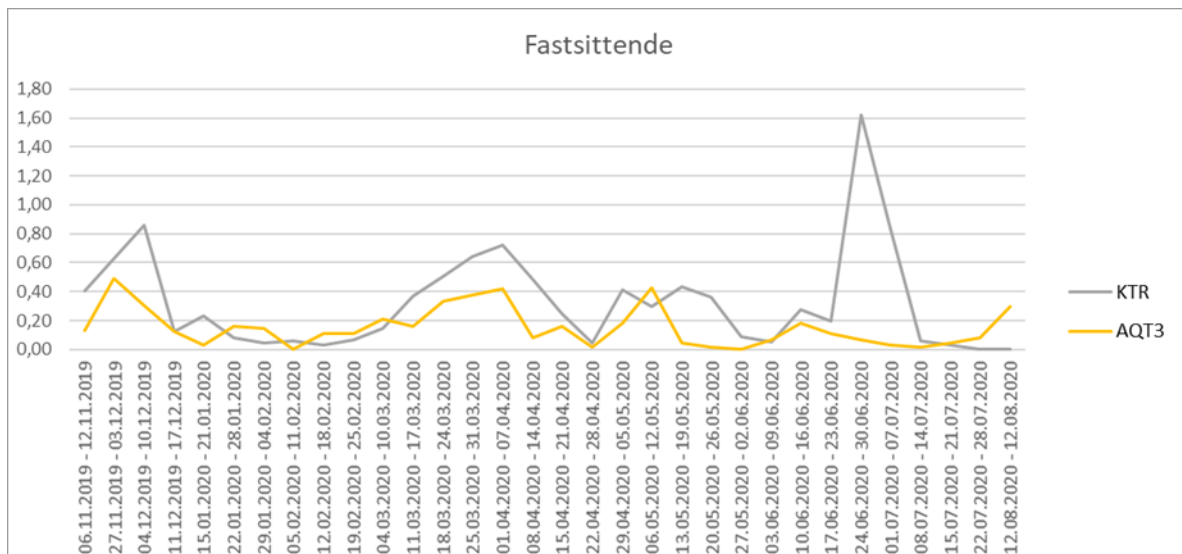
Tilpasning av data er gjort på følgende måte: Manglende enkeltvis lusetellinger er erstattet med gjennomsnitt av foregående uke og etterkommende uke. Dette for å unngå at ikke utførte tellinger registreres til null som i praksis vil trekke gjennomsnittet ned på en uriktig måte.

Det er også vurdert om antallet fisk per merd skulle korrigeres for, men vi fant dette uriktig. I stedet ble det fokusert på gjennomsnittene registrert per fisk, og ikke om dobbelt så mye fisk i Aquatraz «produserte» dobbelt så mye lus. For å unngå at fiskemengden ved sammenligning av to produksjoner ikke skal påvirke resultatet bør slike forsøk ideelt sett ha likt antall fisk i hver av forsøksgruppene.

Fastsittende stadier

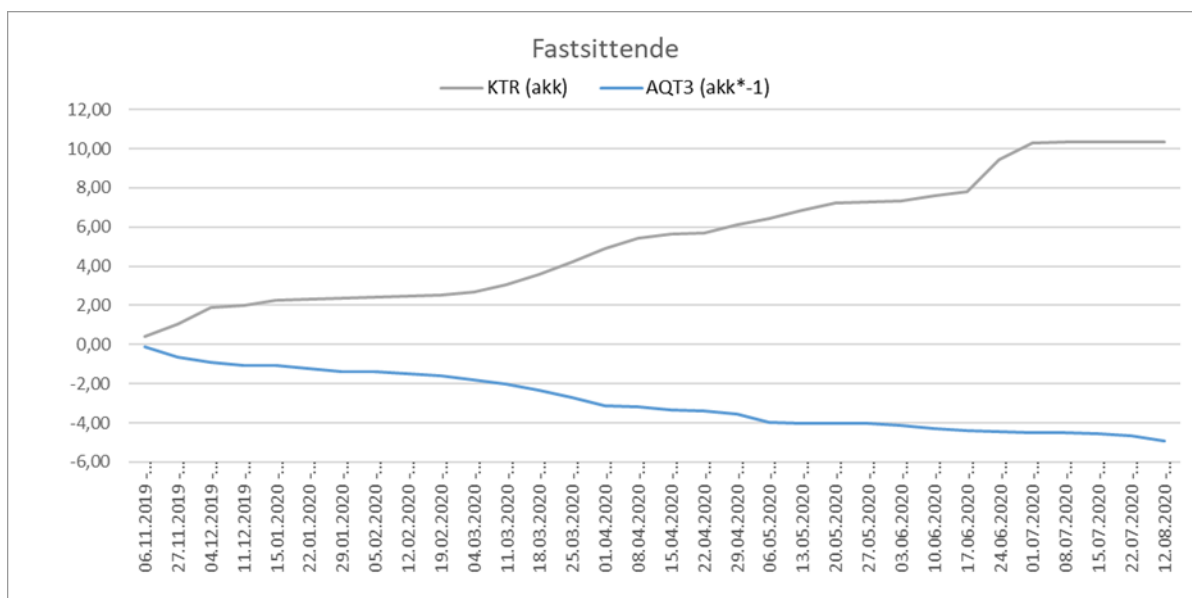
For begge merdsystemene registreres fastsittende stadier i størrelsesorden fra 0 til 1,6 i snitt og fire topper i løpet av perioden skiller seg ut. Den første ses rett etter overføring i november 2019, deretter ser vi en rolig periode frem mot mars 2020 der det ser ut som begge merder får påslag av

luselarver. Tredje runde kommer i mai og ser ut til å påvirke kontrollmerd mer omfattende. Ved siste påslag i juni ser man et vesentlig høyere påslag i KTR sammenlignet med AQT3.



Figur 7.7: Ukentlig registrering av fastsittende lakselus

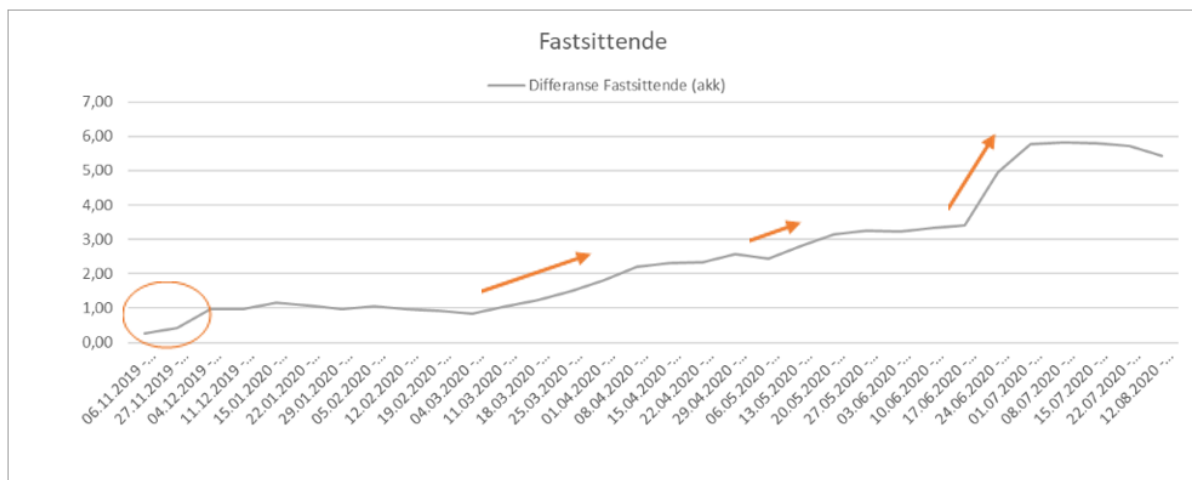
Ved å benytte en akkumulerende graf og gi AQT3 negativt fortegn vil de to merdene utvikle seg som vist i figur 7.8. Her vil den langsiktige tendensen fremkomme tydeligere, mens de ulike toppene/enkelt-registreringene blir mindre markerte. AQT3 ender opp med 4 i sum mens KTR ender på 10. Det er med hensikt ikke tatt med benevnelse på y-aksen, selv om dette er antall fastsittende lus. Verdien på y-aksen kan betraktes som en «faktor» snarere enn et definert tall på lusepåslag.



Figur 7.8: Akkumulerende gjennomsnitt der kontrollmerd er positiv og AQT3 er negativ.

Den relative forskjellen mellom merdene presenteres i figur 7.9. Der kurven er horisontal er det ingen akkumulert forskjell mellom merdene, dvs at merden utvikler seg relativt likt med hensyn på fastsittende lus. Ved stigende linje presterer AQT bedre enn KTR. Mellom de flate partiene gjør kurven tre hopp, henholdsvis midten av mars, midten av mai og midten av juni. Det første hoppet i

midten av mars er ikke sammenfallende med avlusing, men de to hoppene i mai og juni er sammenfallende med avlusing. Kontrollmerden var også sannsynligvis uten skjørt ved de to siste hoppene.

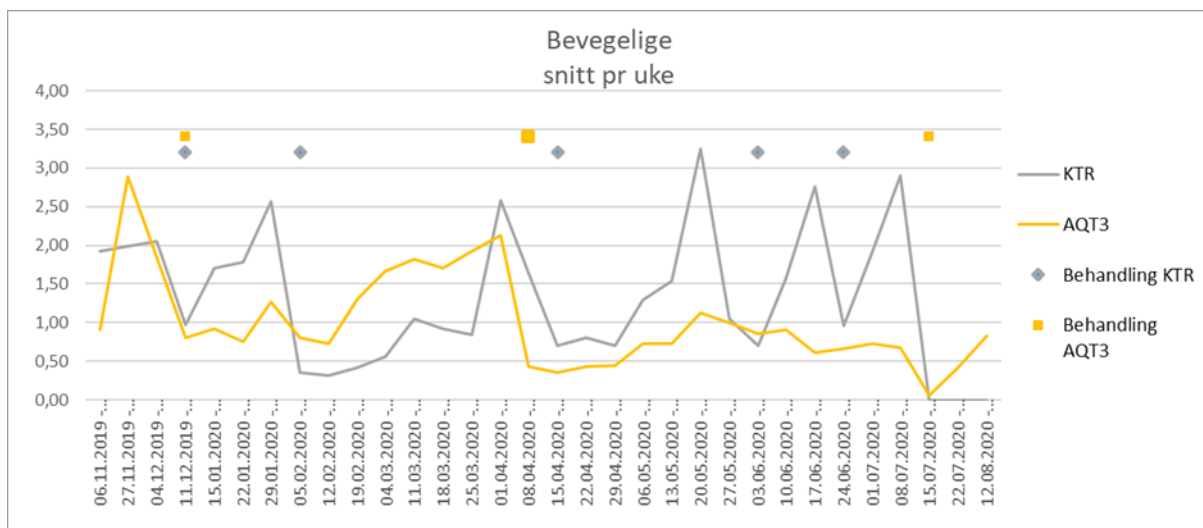


Figur 7.9: Relativ forskjell i registrering av fastsittende lus. I perioder der grafen øker markert, registreres det mer lus i kontrollmerden enn i AQT3. Periodene er illustrert med piler. I flate partier på grafen er det ingen forskjell i perioden på hvor mye fastsittende lus som registreres. Kontrollmerden ble slaktet ut i midten av juli.

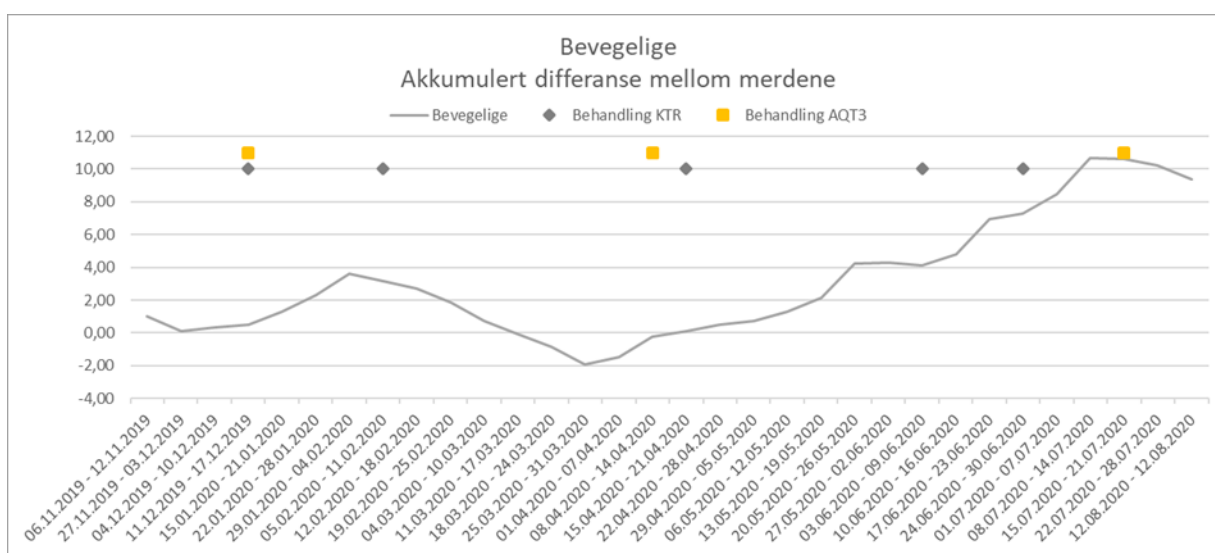
Bevegelige stadier

De bevegelige stadiene ser ut til å utvikle seg i et annet mønster enn de fastsittende. Her må både telleusikkerhet og mulighet for påslag av bevegelige tas med i vurderingen til tross for at sistnevnte kan være noe kontroversielt. Vanligvis vil juvenile utvikle seg til bevegelige stadier etter et forutsigbart mønster knyttet til døgngader og temperatur. Hvis det i perioder registreres langt mer bevegelige lus enn det juvenile i foregående periode skulle tilsi, bør påslag av bevegelige med ekstern opprinnelse tas med i betraktning. Håndtering med orkast i nabomerden kan være et eksempel på aktivitet som kan gi bevegelige lakselus fritt i vannmassene.

Ved oppstart av forsøket ble det registrert en del lus og dette resulterte i avlusing av begge merder noen uker ut i forsøket. I kontrollmerden kom de bevegelige påfallende raskt tilbake og her mistenkes det et re-påslag som følge av selve håndteringen. Etter ny behandling av kontrollmerden snudde trenden og en påfallende rask økning av bevegelige ble registrert i AQT3. Begge merder måtte behandles på nytt i april med tilsynelatende godt resultat. Herfra og frem til slakt holdt Aquatraxmerden moderate nivåer av bevegelige lus mens gjentatte behandlinger måtte utføres i kontrollmerden.



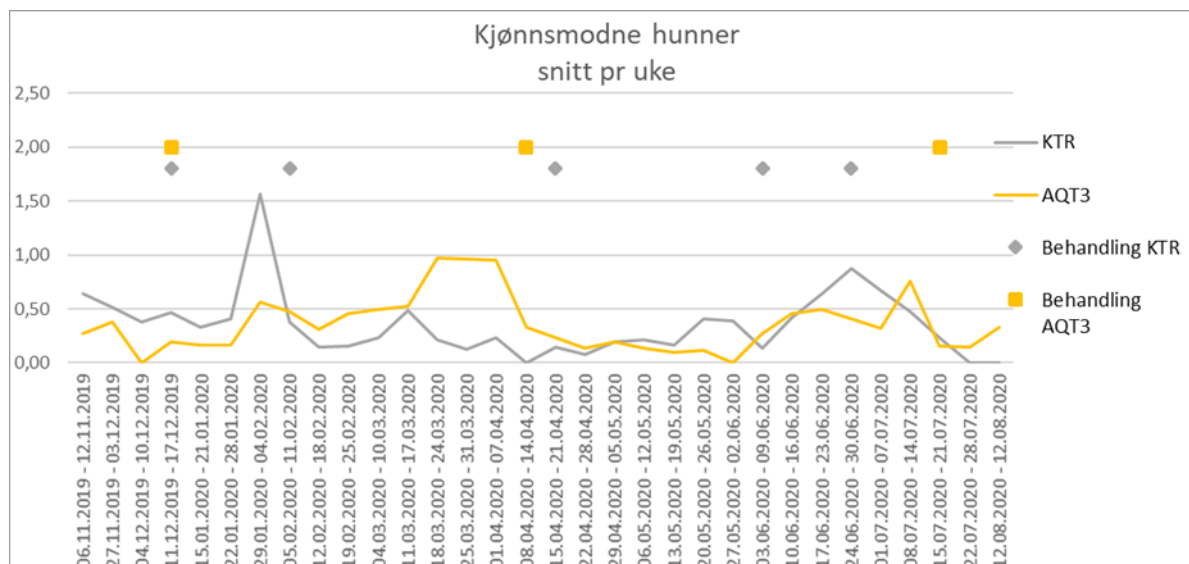
Figur 7.10: Ukentlig utvikling av bevegelige lusestadier. Fra april og utover holdt Aquatraz bedre unna lusa enn kontrollmerden.



Figur 7.11: Akkumulert forskjell mellom Aquatraz og kontrollmerden. Grafen krysser x-aksen i mars og matematisk tilsier dette at det er registrert like mange bevegelige i snitt per fisk akkumulert frem til dette tidspunktet for hver av merdene. Fra april og utover er det vesentlig mer påvisning av bevegelige i kontrollmerden enn i AQT3.

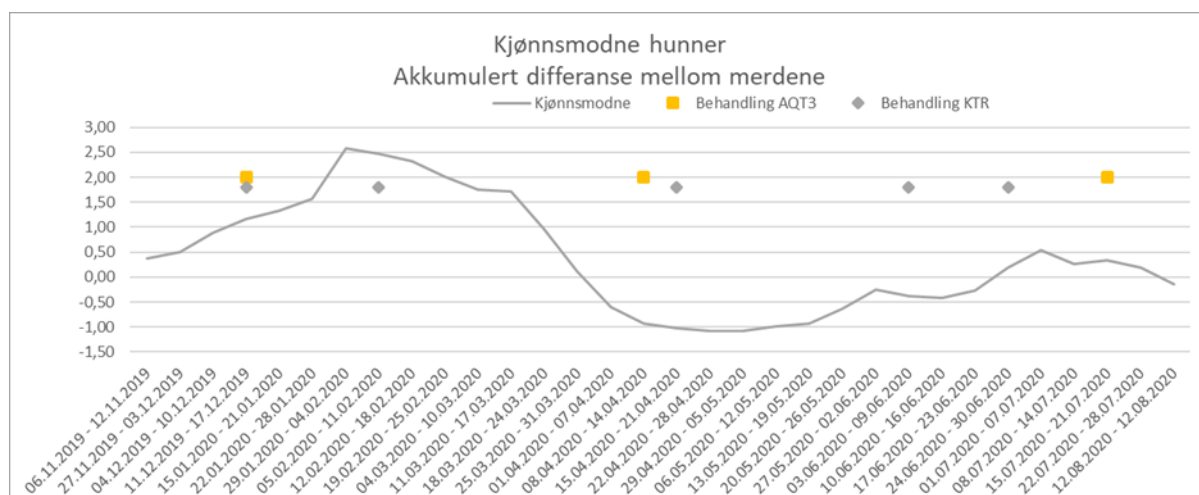
Kjønnsmodne

Nivået av kjønnsmodne lus er koblet til beslutning for behandling og vil i utgangspunktet ikke utvikle seg fritt slik som de andre to kategoriene. Registreringene fra uke til uke er likevel ganske sammenfallende med de bevegelige stadiene, se figur 7.12.



Figur 7.12: Ukentlig utvikling av kjønnsmodne hunner.

I figuren der de akkumulerte gjennomsnittene presenteres (figur 7.13) ser vi at tendensen er sammenfallende med bevegelige stadier. Den største relative forskjellen ser ut til å være i perioden etter utsett og utover vinteren, men fra mars og utover er det samlet registrert flere kjønnsmodne i Aquatraz. Det er også flere behandlinger i kontrollmerden i denne perioden.

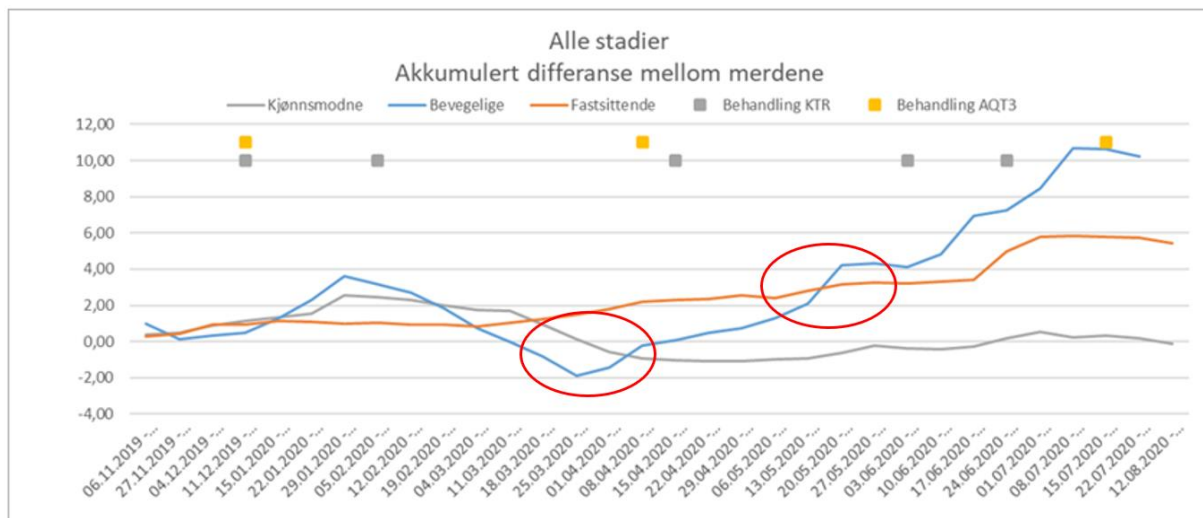


Figur 7.13: Relativ forskjell på akkumulert snitt av kjønnsmodne hunner. Tall høyere enn null angir høyere nivå av kjønnsmodne lus i kontrollmerden, mens lavere enn null angir høyere tall i Aquatraz. Flat kurve tilsier lik utvikling i perioden.

Samlet vurdering

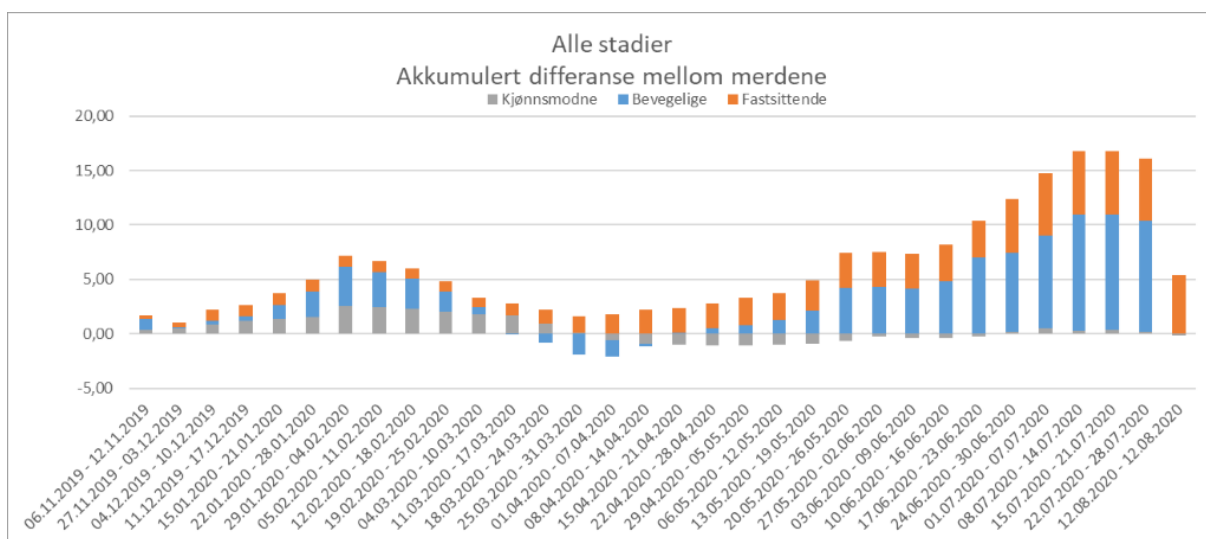
I figur 7.14 er alle sammenligningene slått sammen. Man ser de fastsittende øke jevnt og trutt, og forskjellen mellom KTR og AQT3 forsterkes jevnt utover hele forsøksperioden. De bevegelige stadiene og kjønnsmodne hunner følger hverandre, men med en naturlig forsinkelse i utvikling av kjønnsmodne. Fra april og utover ser vi derimot som beskrevet tidligere, at forskjellen i registrerte bevegelige forsterkes i disfavør kontrollmerden. Behandling av kontrollmerden ser ut til å flate ut tendensen, men forskjellen forsterkes ufortrødent videre i perioden etter. Skjørtet ble sannsynligvis fjernet på kontrollmerden 17.04.2020 og kan være med å forklare noe av differansene etter

dette. Uten skjørt antas det at KTR er mer påvirkelig fra omkringliggende lusepress, sammenlignet med AQT3 som har bedre skjerming i samme periode.



Figur 7.14: Samlet relativ utvikling av alle tre stadier (faste, bevegelige og kjønnsmodne hunner). Legg merke til to markerte knekkpunkter der utviklingen av lus endrer seg. Disse er ikke sammenfallende med avlusing.

I figur 7.15 slås alle stadier sammen til et akkumulert totaltall for alle stadier. Kun den akkumulerte forskjellen vises. Tendensen er at i første periode øker det raskere med lus i KTR sammenlignet med AQT3, men en avlusing i KTR i januar, snur trenden og ved midten av forsøket ca. mars 2020 er det akkumulerte tallet nært null igjen. Det tilsier at man matematisk har registrert like mye lus som snitt når vi er halvveis ut i forsøket. På dette tidspunkt gjennomføres det som ser ut som en vellykket avlusing på begge merder og vi får en mer nullstilt sammenligning i andre halvdel av forsøket. Fra mars 2020 og utover ser vi en jevn stigende forskjell i registrering av alle stadier, men skarpest er likevel forskjellen i registrerte bevegelige. Som nevnt over, så kan mye av forskjellen i siste halvdel av forsøket tilskrives fravær av skjørt på KTR-merden. Det gir en uheldig effekt med hensyn på sammenligning.



Figur 7.15: Akkumulert differanse i lusetall mellom AQT3 og KTR, alle lusestadier inkludert. Siste søyle er misvisende da kontrollmerden på det tidspunktet var utslaktet.

7.5. Oppsummering

Fiskene på lokalitet Kyrøyene ble sjøsatt fra midten av april til starten av mai 2019. Fra utsettsdato og ut over sommeren var det lav forekomst av lakselus, men fra uke 38 i 2019 ble det mere lus og dette varte frem til utslakting sommeren/tidlig høst i 2020.

Forsøket med AQT3 og kontrollmerden startet i månedsskiftet oktober-november 2019. Merd 4 og merd 10 ble overført til Aquatrazmerden. Merd 13 ble overført til merd 5 som ble kontrollmerd.

Avlusingen ved overføringen til AQT3 og KTR var ikke tilstrekkelig effektiv og begge merdene startet med høyere lusetall enn ønskelig (tabell 7.2).

Tabell 7.2: Lusetall i merdene ved oppstart av forsøket.

Merd	Bevegelige	Faste	Kjønnsmodne
AQT3	0,9	0,13	0,27
KTR	1,9	0,4	0,64

Det antas at egensmitte inne i merden kan ha vært betydelig, og siden KTR hadde 3 ganger så mange lus i alle stadier sammenlignet med AQT3, er det i praksis ikke mulig å sammenligne direkte. Av den grunn ble den relative sammenligningen tatt med.

I BP1 (dokument nr. AQT-MNH-BIO-004) ble betydningen av haloklinen diskutert, skillet mellom det ferskere vannlaget i overflaten og det saltere vannlaget under. Det er kjent at både nauplier og copepoditter foretrekker vannlaget like under haloklinen (Crosbie et al. 2019). Inne i fjorder kan ferskvannslaget bli ganske tykt og dermed tvinge larvene ned på dypere vann. I Eiterfjorden var dette sannsynligvis en av årsakene til at luselarver kom inn i merda.

På Kyrøyene, som er en havnær lokalitet vil ikke ferskvannslaget i overflata bli særlig tykt. Når larvene holder seg i overflata bør Aquatrazmerden, med en åtte meter stabil skjørtekant gi bedre beskyttelse i dette området enn inne i fjordene.

I midten av april ble det foretatt en relativt vellykket avlusing, samt at det i samme periode (samtidig?) ikke ble montert nytt skjørt i KTR. Etter dette var det en markant forskjell på AQT3 og KTR. AQT3 ble fra april til utslakting i august/september bare avluset en gang mens kontrollmerden ble avluset to ganger med kort mellomrom og deretter slaktet ut i midten av juli.

Dersom vi ser på behandling og luseutvikling i hele perioden har Aquatrazmerden likevel en langt bedre utvikling enn kontrollmerden, men siden det i samme periode ikke var skjørt på KTR, må man anta at påvirkning fra omgivelsene har større negativ betydning for KTR, enn AQT3 som var skjermet i samme periode.

Høye lusetall ved start og manglende skjørt i siste halvdel, farger resultatene såpass at man bare kan si at AQT3 var forskjellig fra KTR, uten at det muliggjør mer inngående diskusjon rundt f.eks. skjørtdybde, strømsetting mm.

Viktige områder for videreutvikling av Aquatrazteknologien er gjennomgang og utvikling av bedre avlusingsmetoder, samt fortsatt vurdering av ulike skjørtedybder på ulike lokaliteter.

8. Adferd og akustisk telemetri

Av: Peder A. Jansen, INAQ AS, Henning Andre Urke, INAQ AS, Jo Arve Alfredsen, NTNU Teknisk Kybernetikk og Torstein Kristensen, INAQ AS.

8.1. Formål og bakgrunn

Formålet er å skaffe ny, detaljert kunnskap om fiskens adferd i AQT3 ved bruk av akustisk telemetri. Tre underpunkt skal belyses:

- 1: Adferd i merd, fordeling av fisken i vanlig drift
- 2: Adferd ved strømsetting
- 3: Adferd og stress ved trenging

Midt-Norsk Havbruk har fått utviklingstillatelser til Aquatraz-konseptet og er nå i en utviklingsfase hvor det er viktig å dokumentere Generasjon 2 av konseptet (AQT3). Adferd til laks under varierende miljø- og driftsforhold (strømsetting, utfôring, trenging og pumping) er en kunnskapsmessig kritisk komponent for dokumentasjon av dette nye produksjonssystemet. Det er også viktig å kjenne til hvordan ulike miljøvariabler som strømforhold, lys (kunstig og naturlig), temperatur og ikke minst tiltak for å øke vanngjennomstrømningen i merden (i dette tilfellet Midt-Norsk-ringen og ulike strømsettere) påvirker adferden til laksen.

Detaljert kunnskap om adferd hos laks dokumenteres gjennom å merke fisken med akustiske sendere. Merker med integrert dybde- og akselerasjonssensor sikrer detaljerte data for adferd og svømmedyp. Ved utplassering av multiple akustiske mottakere forskjellige steder i merden, sikres detaljert sporing av fiskens bevegelser. Det er i 2018-2019 gjort en tilsvarende dokumentasjon av AQT1 og det pågår for tiden nye tilsvarende forsøk i AQT4 (BP3). Adferd under trenging har ikke latt seg belyse på en god nok måte i AQT3 grunnet besøksrestriksjoner.

8.2. Metodikk

8.2.1. Akustisk fisketelemetri

På lokalitet Kyrøyene ble det 16. desember 2019 merket totalt 60 laks (58,2±3,0 cm) i AQT3 og i kontrollmerd (KTR, merd 5) med akustiske sensormerker. I hver merd ble det på 20 av laksene brukt et merke av typen AD-MP-9L med 60-120 sek. utsendingsintervall, og 10 laks ble merket med typen D-MP-9L med 20-40 sek utsendingsintervall. Merkingen skjedde i henhold til standard kirurgiprotokoll (Urke m. fl. 2013) og med tillatelse fra Forsøksdyrutvalget (FOTS ID 15491).



Figur 8.1: Lokalitet Kyrøyene med AQT3 midt i bildet (ved brønnbåt) og kontrollmerden bakerst til høyre.

Hver merd ble utstyrt med tre mottakere (Thelma Biotel TBR700RT) med overflatemodul for tidssynkronisering basert på GPS-signaler (Hassan m.fl. 2019 a og b, Ulvund m. fl. 2019). Alle data

lagres og tidsstemples nøyaktig i hver mottaker slik at fiskens posisjon i merden kan beregnes. Data ble lastet ut og analysert etter behov.



Figur 8.2: Ut plasserte akustiske mottakere (TBR) på lokalitet Kyrøyene (TBR 732, 735 og 837 i AQT2 og TBR 730, 836 og 944 i kontrollmerd).

Sammen med telemetridataene ble det i tillegg registrert føringstidspunkter/ -perioder, dødfisk, strømsettingsregime og andre relevante observasjoner angående hendelser (pumping/trenging) og driftsforhold i merden, og miljødata som temperatur og salinitetsprofiler, strøm, lys og værforhold.

8.2.2. Analyser av dybdata

Fra Kyrøyene er det på rapporttidspunkt tatt ut dybderegistreringer som dekker perioden 17. desember 2019 til 3. februar 2020, med 20 individer fra AQT3 og 22 individer fra kontrollmerden som dekker hele denne perioden. På grunn av tidkrevende kvalitetssikring av posisjoneringsdata vil siste del av produksjonen analyseres nærmere etter ferdigstilling av denne rapporten, og vil bli omtalt i senere rapporter i prosjektet.

For å analysere dybdebruk over døgnet for disse individene, er dataene først aggregert til timesgjennomsnitt for alle individer over de 1152 timene som dekker hele perioden. I noen få tilfeller der data for en gitt fisk manglet for en gitt time, ble disse timene tilregnet som gjennomsnittet av foregående og kommende time. Maksimalt antall tilregnede timer var 38 for en fisk.

Fordi individene typisk har syklisk døgnrytme i dybdebruk, er dataene analysert med regresjon der vi benytter generelle additive modeller til å tilpasse en syklisk funksjon til dataene over alle dagene gjennom tidsserien. I tillegg analyserer vi på effekter av daglig utføringsprosent og daglige driftsrelaterte hendelser etter digitalisert logg av hendelsene. Regresjonsanalysene er foretatt med bruk av mgcv pakken i R (Wood, S. 2020) etter ligningen:

$$\text{Dyp} \sim \text{utføring} + \text{faktor}(\text{hendelser}) + \text{faktor}(\text{Fiskeindivid}) + \text{te}(\text{Døgntime, Dager})$$

Dyp representerer her individuell gjennomsnittdybde per time i tidsserien. Utføring representerer daglig utføring som prosentandel av biomasse. Hendelser er delt inn i rutinehendelser, operasjoner uten føring, operasjoner på andre merder på lokaliteten og uvær (storm). Fiskeindivid representerer gjennomsnittdyp for individer sammenlignet med individet med gjennomsnittsdyp nærmest gjennomsnittet av alle dyp i datasettet. Endelig representerer siste ledd i ligningen, te (Døgntime, Dager), den glattede døgnvariasjonen i forventet dybde per time over tidsserien.

Regresjonsanalysene er gjort hver for seg for de to merdene. For AQT3 omfattet analysen en tilleggsvariabel for antall strømsettere som var i gang på gitt dag.

8.2.3. Forflytningsdistanser

Det er her gjort en analyse av forflytning av individuelle fisk merket med hurtig-sendende akustiske merker (20-60 s) i henholdsvis AQT3 og kontrollmerd på Kyrøyene. 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 47 dager fra 17.12.2019 til 03.02.2020, med 10 individer fra AQT3 og 10 individer fra KTR. Av samme årsak som angitt i avsnitt 8.2.2 vil analyser for siste del av produksjonen gjøres etter denne rapporten er ferdigstilt.

Dataene ble analysert med en lineær regresjonsmodell med individ som tilfeldig effekt:

$$\ln(\text{Forflytningsdistanse}) \sim \text{faktor}(\text{dagtid}) + \text{faktor}(\text{merd}) + \text{faktor}(\text{hendelser}) + (1 | \text{fiskeindivid})$$

Her representerer Forflytningsdistanse avstand mellom registreringer med mindre enn ett minutt forskjell for fiskeindivid. Dagtid er definert fra klokken 0800 - 1600. Merd angir om det er AQT3 eller KTR. Hendelser er delt inn i rutinehendelser, operasjoner uten føring, operasjoner på andre merder på lokaliteten og uvær (storm). Fiskeindivid representerer en tilfeldig effekt for individ der beregningene angir gjennomsnittlig forflytningsdistanse for individene. Utføring ble forsøkt tatt inn kvantitativt i regresjonsmodellen både på dagnivå og på dagtid-nivå. Dagtid i seg selv, ga imidlertid bedre effekt i modellen slik at utføring falt ut.

Regresjonsanalysene ble også gjort for AQT3 for seg selv med tillegg av variabelen strømsettere som var i gang på gitt dag. Dette ga imidlertid ikke noen signifikant effekt på forflytningsdistanser, slik at denne modellen er utelatt.

8.2.4. Fordelinger av registreringer i ulike vannvolum

Ut fra posisjoneringsdata ble det også gjort en analyse av andel registreringer i ulike vannvolum i AQT3 og KTR. Vannvolumene ble da delt opp i $2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ m}^3$ volum i hver merd og registreringer for alle fiskeindivid for tilsvarende periode som angitt over, ble summert for de ulike volumene. Ut fra en antagelse om andelen registreringer i et gitt vannvolum tilsvarer sannsynligheten for at biomassen i merden vil finnes i dette vannvolumet, ble det utfra biomasse i merdene beregnet tettheter av fisk i ulike volum: Andel registreringer i gitt volum * biomasse i merd / $8 \text{ m}^3 = \text{biomasse} / \text{m}^3$

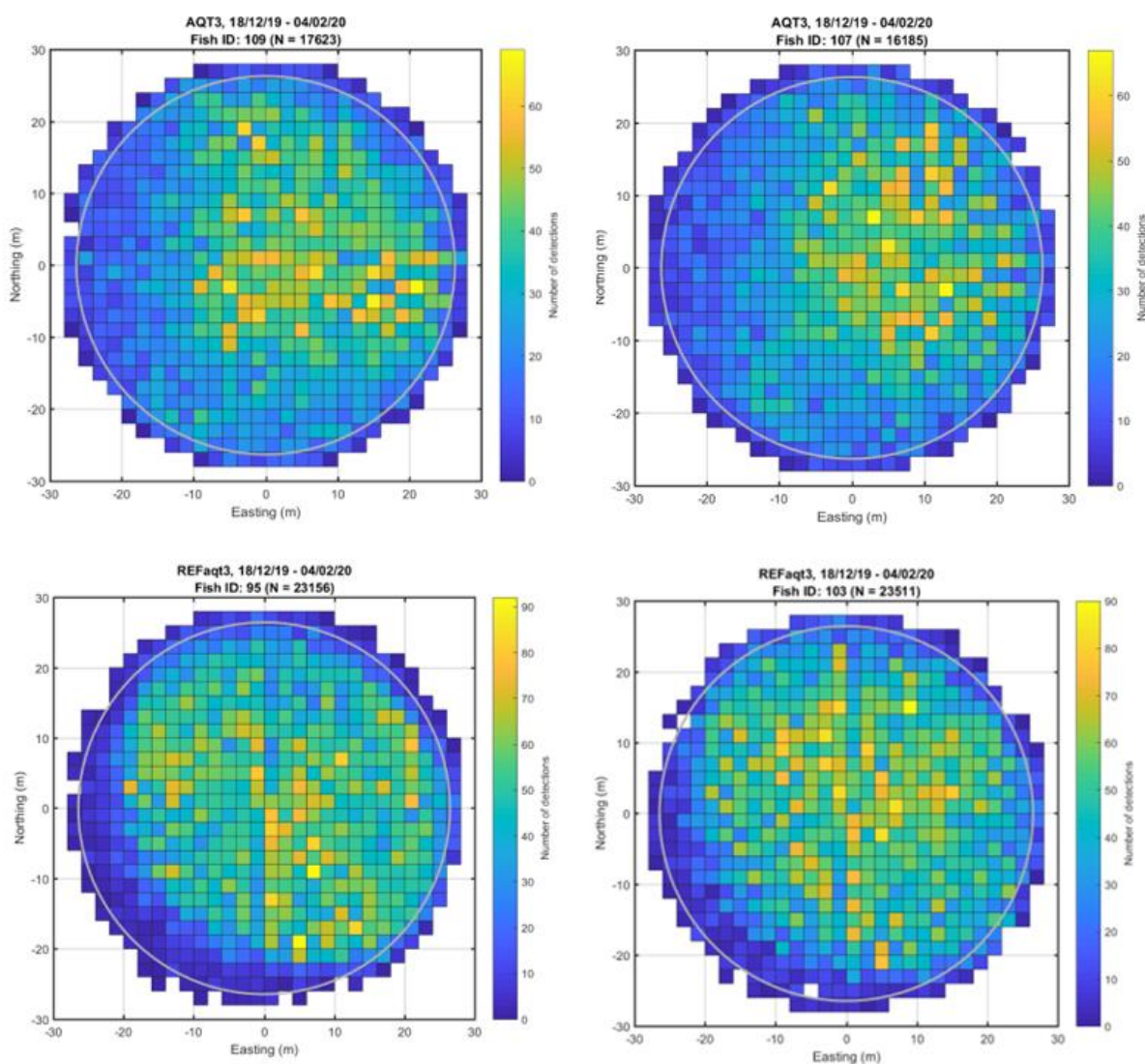
8.3. Resultater og diskusjon

8.3.1. Datafangst

Det var totalt hhv. 4112 og 4201 dager med AT data (antall fisk X antall dager) i AQT2 og KTR. Fra merking til utslakting hadde en opptil hhv. 258 og 218 dager datafangst per fisk i AQT2 og KTR. I AQT2 var det 17 fisk med over 140 dager med data, og i KTR 18 fisk med over 131 dager med data.

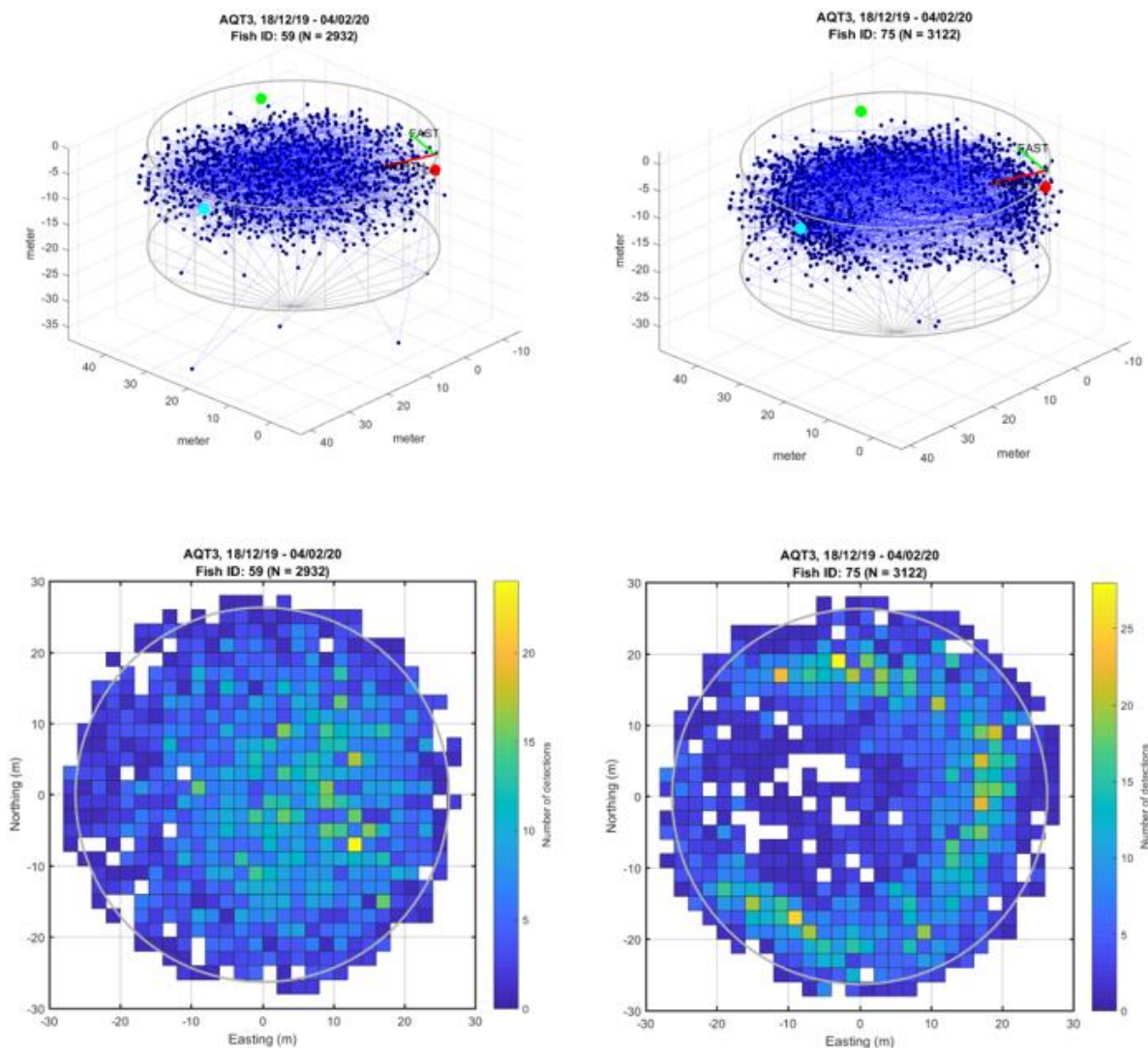
8.3.2. Horisontal fordeling

Horisontal fordeling av to laks i AQT3 og to laks i kontrollmerden 18.12.2019 til 04.02.2020 er vist i figur 8.3a. Fordelingene er vist som frekvenser av registreringer i hver rute i horisontalplanet der gult representerer hyppige registreringer og blått sjeldne registreringer.

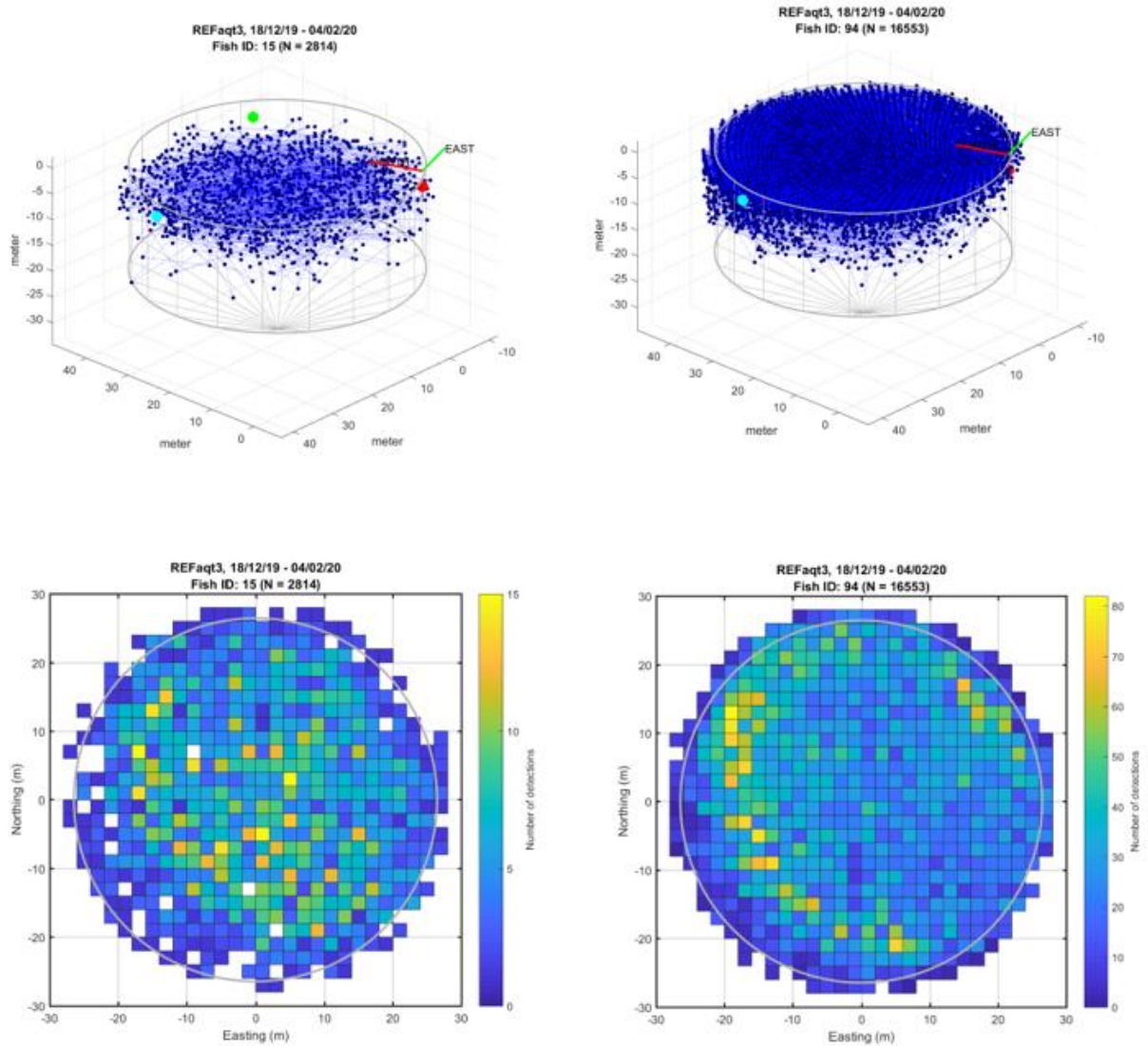


Figur 8.3a: Horisontal fordeling av to laks (ID 109 og 107) i Aquatrax (AQT3, øvre panel) og to laks (ID 95 og 103) i kontrollmerd (nedre panel) over perioden 18.12.2019 til 04.02.2020. Fordelingene er vist som frekvenser av registreringer i hver rute i horisontalplanet der gult representerer hyppige registreringer og blått sjeldne registreringer.

Kontinuerlig bestemmelse av individenes posisjoner i merdvolumet muliggjøres ved at tre mottakere (hydrofoner) plasseres i kjente posisjoner langs kanten av merden, og at mottakerne er nøyaktig synkroniserte i tid. Figur 8.3b og c viser eksempel på 3D-posisjoner og horisontal fordeling for to laks fra henholdsvis AQT3 og KTR i den aktuelle perioden frem til 4. februar 2020. Dybdedata på disse fire laksene er også presentert i figur 8.7.



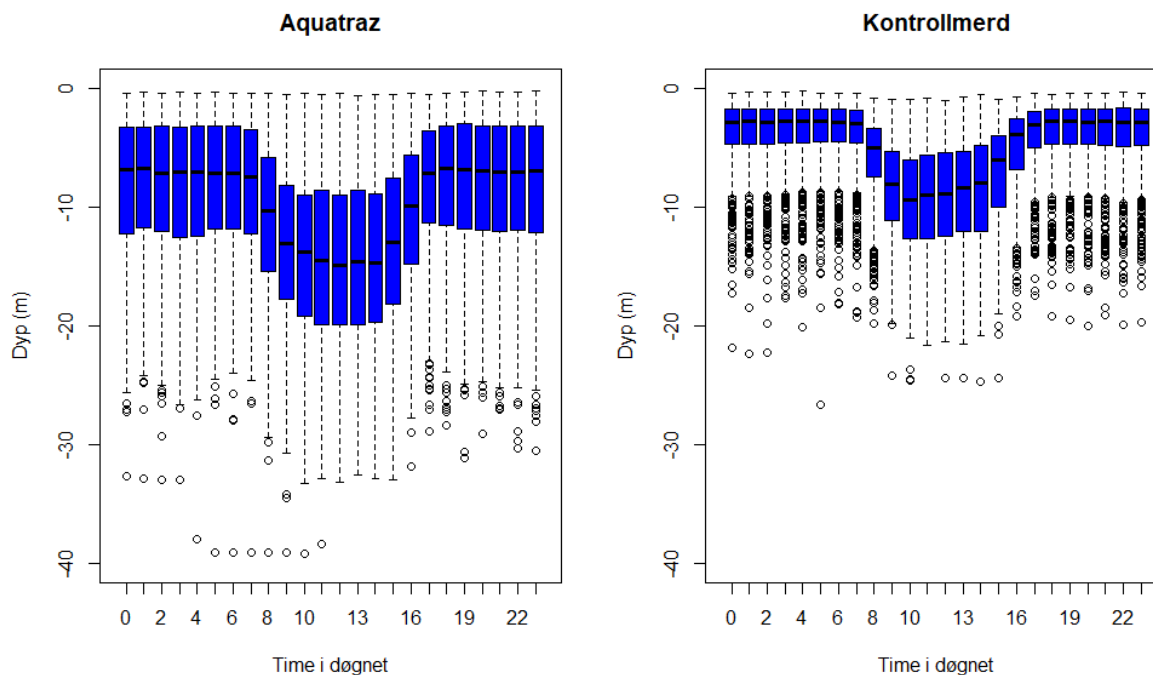
Figur 8.3b: 3D-posisjoner (øvre panel) og horisontal fordeling (nedre panel) av to laks (ID 59 og 75) i Aquatraz (AQT3) over perioden 18.12.2019 til 04.02.2020. Fordelingene er vist som frekvenser av registreringer i hver rute i horisontalplanet der gult representerer hyppige registreringer og blått sjeldne registreringer.



Figur 8.3c: 3D-posisjoner (øvre panel) og horisontal fordeling (nedre panel) av to laks (ID 15 og 94) i kontrollmerd over perioden 18.12.2019 til 04.02.2020. Fordelingene er vist som frekvenser av registreringer i hver rute i horisontalplanet der gult representerer hyppige registreringer og blått sjeldne registreringer.

8.3.3. Dybdebruk

Typisk døgnadferd for fisken i både AQT3 og kontrollmerden var registreringer på større dyp om dagen enn om natten (figur 8.4).



Figur 8.4: Fordeling av dybderegistreringer gjennom timer i døgnet for alle individuelle fisk i Aquatraz (AQT3) og KTR. Svarte horisontale streker representerer median, blå bokser representerer 25 – 75 prosentiler, stolper og punkt representerer mer avvikende registreringer.

De klart mest betydningsfulle variablene som forklarer dybdebruk i AQT3 var forskjeller mellom individer og den tilpassede døgnvariasjonen sammen med dager fra merking til slutten på de opparbeidede tidsseriene (tabell 8.1).

Tabell 8.1: Variansanalysetabell (anova) for regresjonsanalysen av dybdebruk i Aquatraz (AQT3) i perioden 17.12.2019 til 03.02.2020 (justert $R^2 = 0.45$; df = frihetsgrader, F = F statistikk som et mål på forklaringsstyrke, *** tilsvarer $p < 0.001$, ** tilsvarer $p < 0.01$).

	df	F	p-verdi
as.factor (Uvær)	1	14.7	***
as.factor (Rutine > 1)	1	7.4	**
as.factor (Individ)	19	656.0	***
as.factor (Strømsettere > 2)	1	9.17	**
te(Døgntime, Dager)		323.3	***

Skjæringspunktet for regresjonsligningen var på -9.82 m, det vil si gjennomsnittsdypen for alle individ, dager og timer i døgnet når ingen av faktorene i analysen påvirker dybdeforventningen. Her er dette når det ikke er uvær, rutineoperasjoner er digitalisert til 1 og det er 2 eller færre strømsettere i gang. Individuell variasjon i dybdebruk er fremstilt i figur 8.5 mens tilpasset døgnrytme er fremstilt i figur 8.6. Effekten av uvær i fire dager i tidsserien ga en forventning om at fisken ble registrert en halv meter dypere. Tilsvarende for strømsettere, når 3 eller 4 var på i 20 dager av tidsserien, ga dette en forventning om at fisken ble registrert en halv meter dypere.

Rutineoperasjoner registrert med verdi høyere enn 1 ga en forventning om at fisken ble registrert i snitt 0.7 m høyere i vannsøylen.

Foropptak (%) eller andre operasjonelle hendelser ga ikke signifikante effekter på dybderegistreringene.

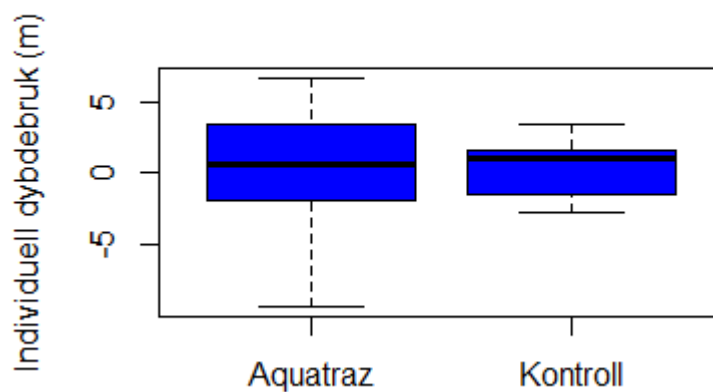
De klart mest betydningsfulle variablene som forklarer dybdebruk i KTR var også forskjeller mellom individer og den tilpassede døgnavariasjonen sammen med dager fra merking til slutten på de opparbeidede tidsseriene (tabell 8.2).

Tabell 8.2: Variansanalysetabell (anova) for regresjonsanalysen av dybdebruk i kontrollmerd i perioden 17.12.2019 til 03.02.2020 (justert $R^2 = 0.53$; $df = \text{frihetsgrader}$, $F = F \text{ statistikk}$ som et mål på forklaringsstyrke, *** tilsvarer $p < 0.001$).

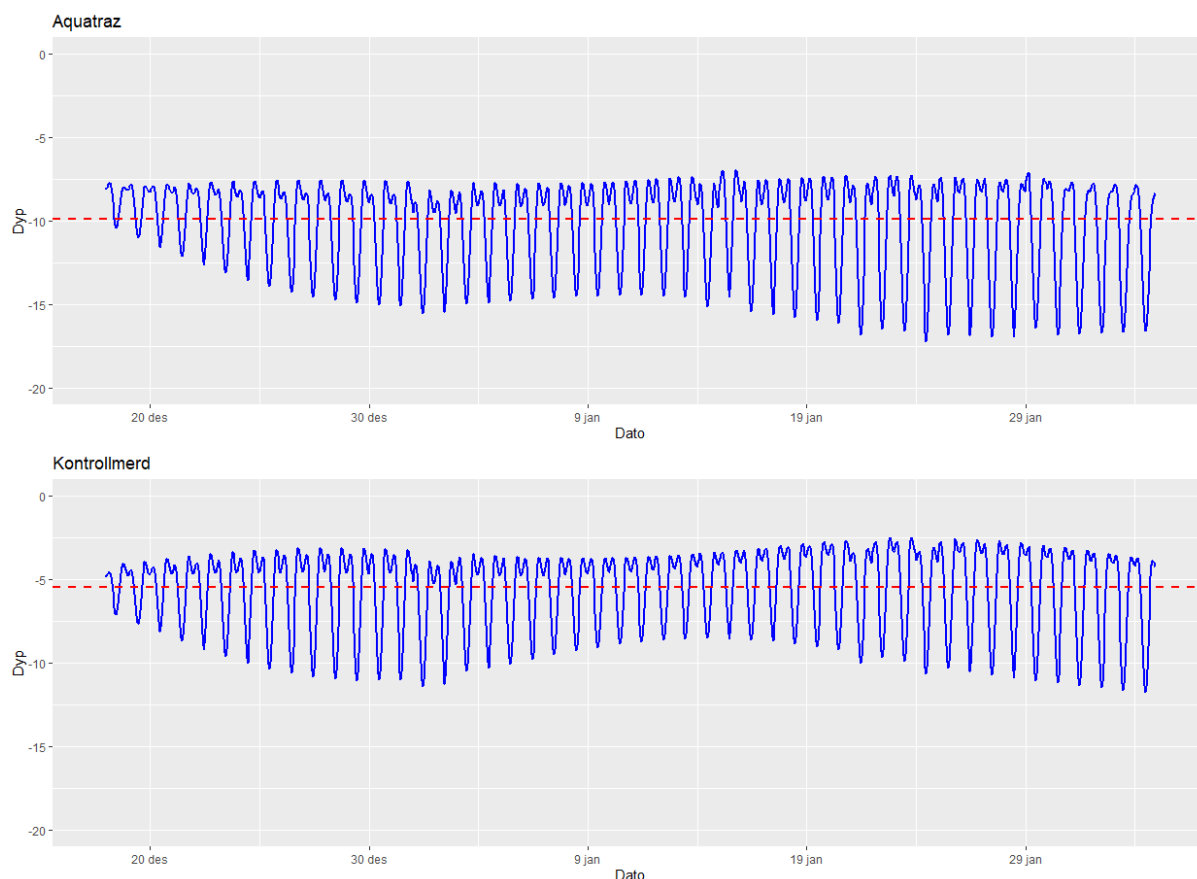
	df	F	p-verdi
as.factor (Uvær)	1	78.4	***
as.factor (Individ)	19	466.8	***
te(Døgntime, Dager)	971		***

Skjæringspunktet for regresjonsligningen var på -5.42 m, det vil si gjennomsnittsdypet for alle individ, dager og timer i døgnet når ingen av faktorene i analysen påvirker dybdeforventningen. Her er dette når det ikke er uvær. Individuell variasjon i dybdebruk er fremstilt i figur 8.5 mens tilpasset døgnyrte er fremstilt i figur 8.6. Effekten av uvær i fire dager i tidsserien ga en forventning om at fisken ble registrert 0,6 meter dypere.

Fôropptak (%) eller andre operasjonelle hendelser ga ikke signifikante effekter på dybderegistreringene.



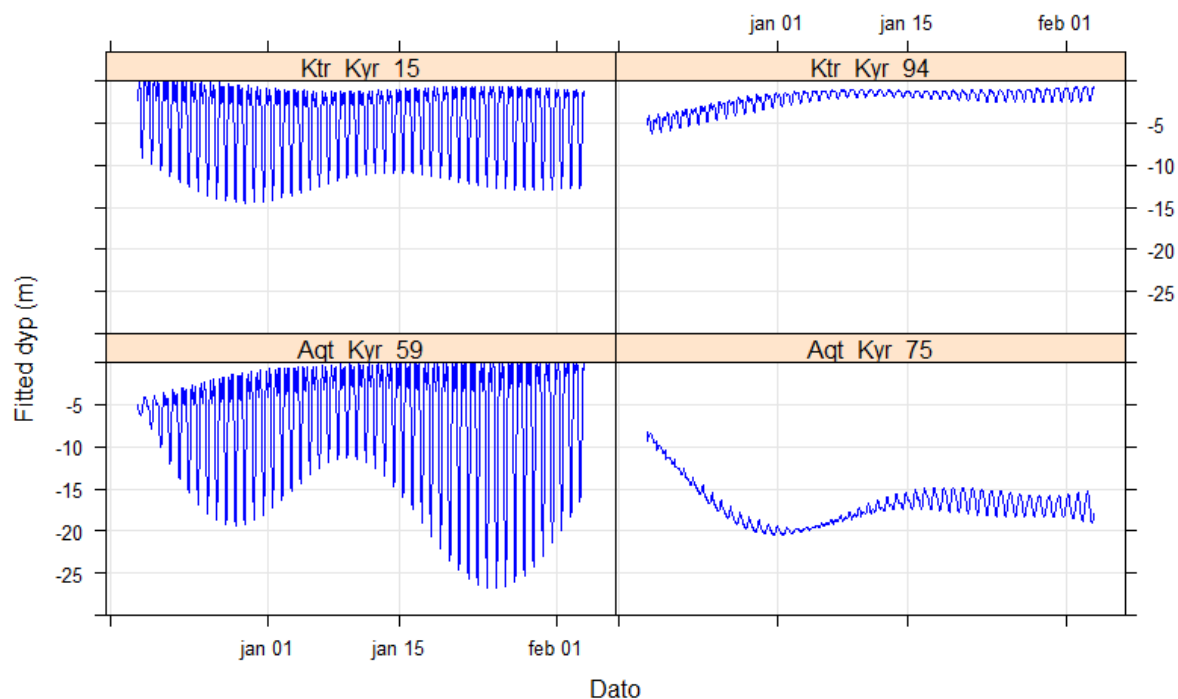
Figur 8.5: Individuell variasjon i gjennomsnittlig dybdebruk i Aquatraz (AQT3) og kontrollmerd (kontroll). Nullpunktene i figuren er definert ut fra gjennomsnittsdypet til gjennomsnittindividet for hver merd, som var 10.1m i AQT3 og 5.5m i kontrollmerden.



Figur 8.6: Blå linjer viser gjennomsnittlig dybdebruk gjennom døgnet og over perioden 17.12.2019 til 03.02.2020 for alle individer i Aquatrax (AQT3) og kontrollmerd. Rød linje angir skjæringspunktet for regresjonsmodellene som angir døgnavariasjonen over tid.

Figur 8.5 viser relativt stor variasjon i individuell dybdebruk, særlig i AQT3. Dyptgående fisk forventes å finnes mer enn 5 meter dypere enn gjennomsnittsfisken, mens gruntgående fisk forventes å finnes mer enn 5 meter grunnere enn gjennomsnittsfisken. Den store forklaringskraften for individuell dybde i regresjonene viser at individene kan karakteriseres etter hvilke dyp de forventes å bli registrert.

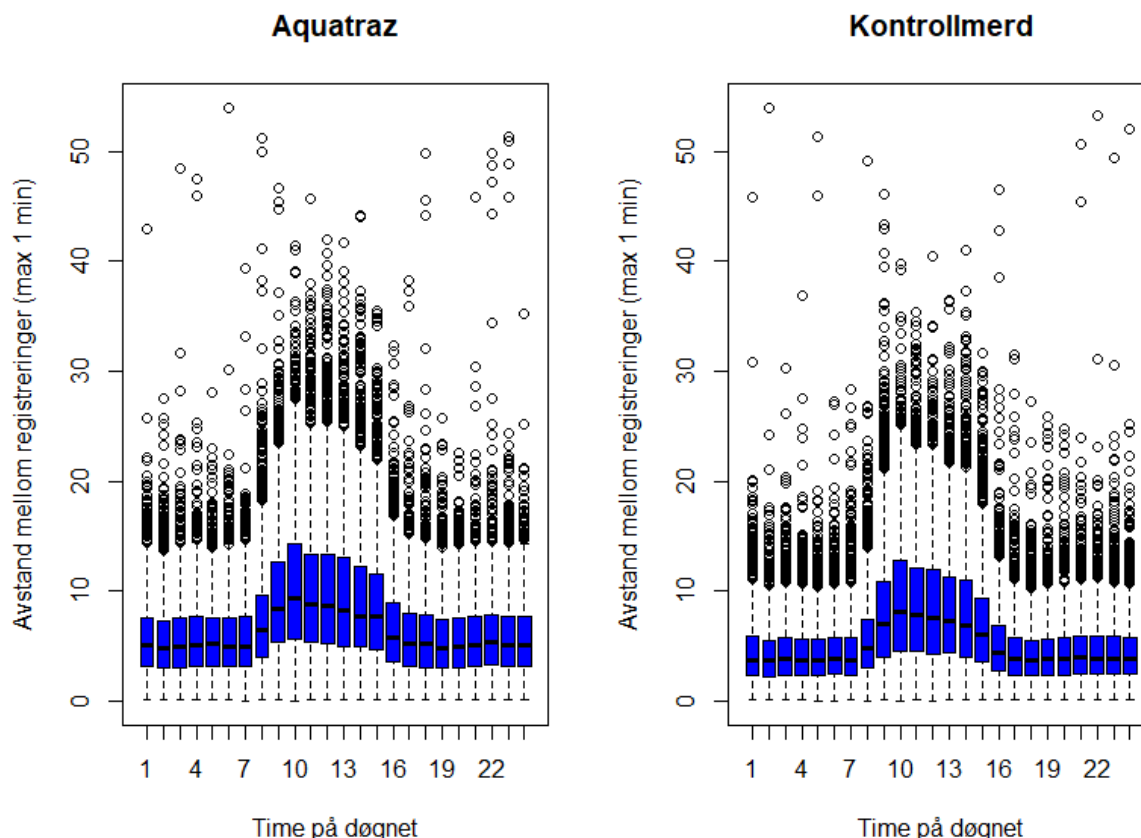
Figur 8.6 viser at fisk normalt vil finnes på rundt 10 meters dyp i AQT3 og normalt rundt 5 meters dyp i kontrollmerden. I tidlig fase av registreringene var døgnavariasjonen relativt liten, men jevn og relativt lik for de to merdene utover i perioden. Store døgnavariasjoner i AQT3 ga utslag på bortimot 10 meters forskjell på forventet dyp, der fisken registreres dypest om dagen og høyest i vannsøylen om natten. Tilsvarende utslag var omtrent 7-8 meter i kontrollmerden (figur 8.6). Til tross for at det var et generelt mønster i døgnrhythmisk dybdeadferd, var det store individuelle forskjeller. Dybdeadferd til to ulike individ i AQT3 og kontrollmerd er vist i figur 8.7.



Figur 8.7: Blå linjer viser gjennomsnittlig dybdebruk gjennom døgnet og over perioden 17.12.2019 til 03.02.2020 for to individer i kontrollmerden (ID 15 og 94, øvre panel) og Aquatraz (AQT3) (ID 59 og 75, nedre panel).

8.3.4. Forflytningsdistanser

Det var tydelig døgnvariasjon i forflytningsdistanser i begge merder, med relativt rask økning fra kl 08 og frem til kl 11, og deretter en jevn reduksjon frem til kl 17 (figur 8.8).



Figur 8.8: Fordeling av forflytningsdistanser mellom registreringer for fiskeindivider der maksimum periode mellom registreringer er ett minutt. Forflytningsdistansene er fordelt på tidsperioder gjennom døgnet og på fisk fra Aquatraz (AQT3) og KTR. Svarte horisontale streker representerer median, blå bokser representerer 25 – 75 prosentiler, stolper og punkt representerer mer avvikende registreringer.

Variable med signifikant effekt på forflytningsdistanse er gitt i tabell 8.3.

Tabell 8.3: Variabler med signifikant effekt på forflytningsdistanser, med definisjon av variablene og effektmål, som angir forventet forflytningsdistanse under påvirkning av en gitt variabel.

Variabel	Definisjon variabel	Effektmål
Skjæringspunkt	Forventet distanse uten påvirkning fra andre variable	5.5
Dagtid	= 1 mellom 08 og 16	9.1
Merd	= 1 for kontrollmerd	4.2
Uvær	= 1 for storm	6.2
Rutineoperasjoner	=1 for rutineoperasjoner > 1	5.7
Fiskeindivid	Tilfeldigeffekt individ = forventet distanse for hvert individ	4-7

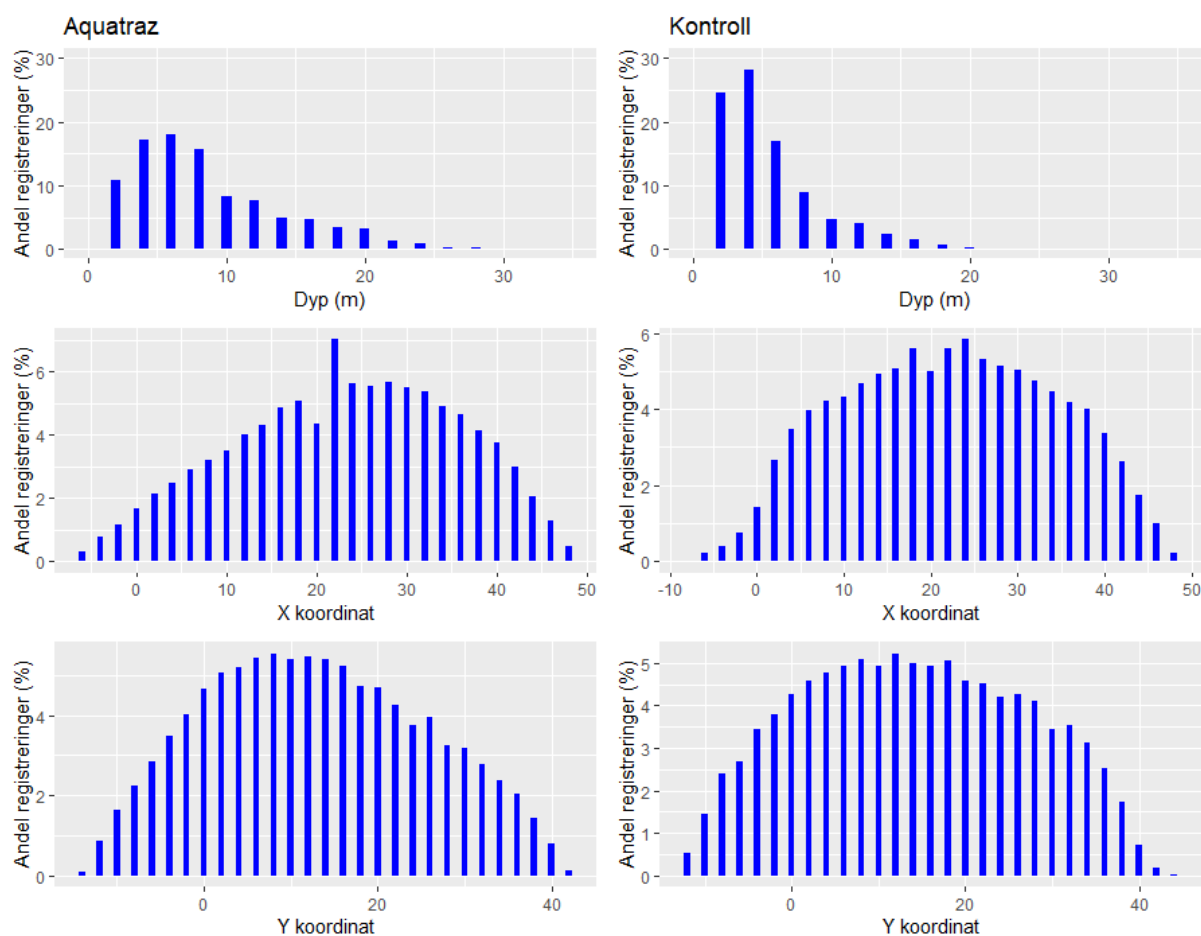
Tabell 8.3 viser at forventet forflytningsdistanse er 5,5 m for gjennomsnittsindividet, dersom man ikke tar hensyn til faktorene som påvirker distansen. Her vil det si at det ikke er dagtid, det er ikke uvær, merd er AQT3 og rutineoperasjoner er digitalisert til 1. På dagtid forventes distansen å øke til 9

m mellom registreringer. Distansene er noe mindre i kontrollmerden enn i AQT3, og øker marginalt i uvær og når rutineoperasjoner er registrert med verdi høyere enn 1.

Regresjonsmodellen hadde relativt liten forklaringskraft med en R^2 -verdi på 0.17. Dette er ikke så overaskende siden de beregnede distansene er rette linjer mellom registreringspunkt med opptil ett minutt mellomrom og fisken sannsynligvis ikke svømmer i rette linjer. Figur 8.8 angir allikevel veldig tydelige og overensstemmende mønstre i forflytningsdistanser i løpet av døgnet. Ved at disse mønstrene sammenfaller med fôringstid er det nærliggende å tenke at fôring øker aktiviteten blant fisken, selv om varierende daglig utfôring ikke ga tilleggsforklaring i regresjonsanalysen.

8.3.5. Fordelinger av registreringer i ulike vannvolum

Figur 8.9 viser frekvensfordelingen av registreringer langs hver av x-, y-, og z-koordinatene avrundet til 2 m intervall for AQT3 og KTR.

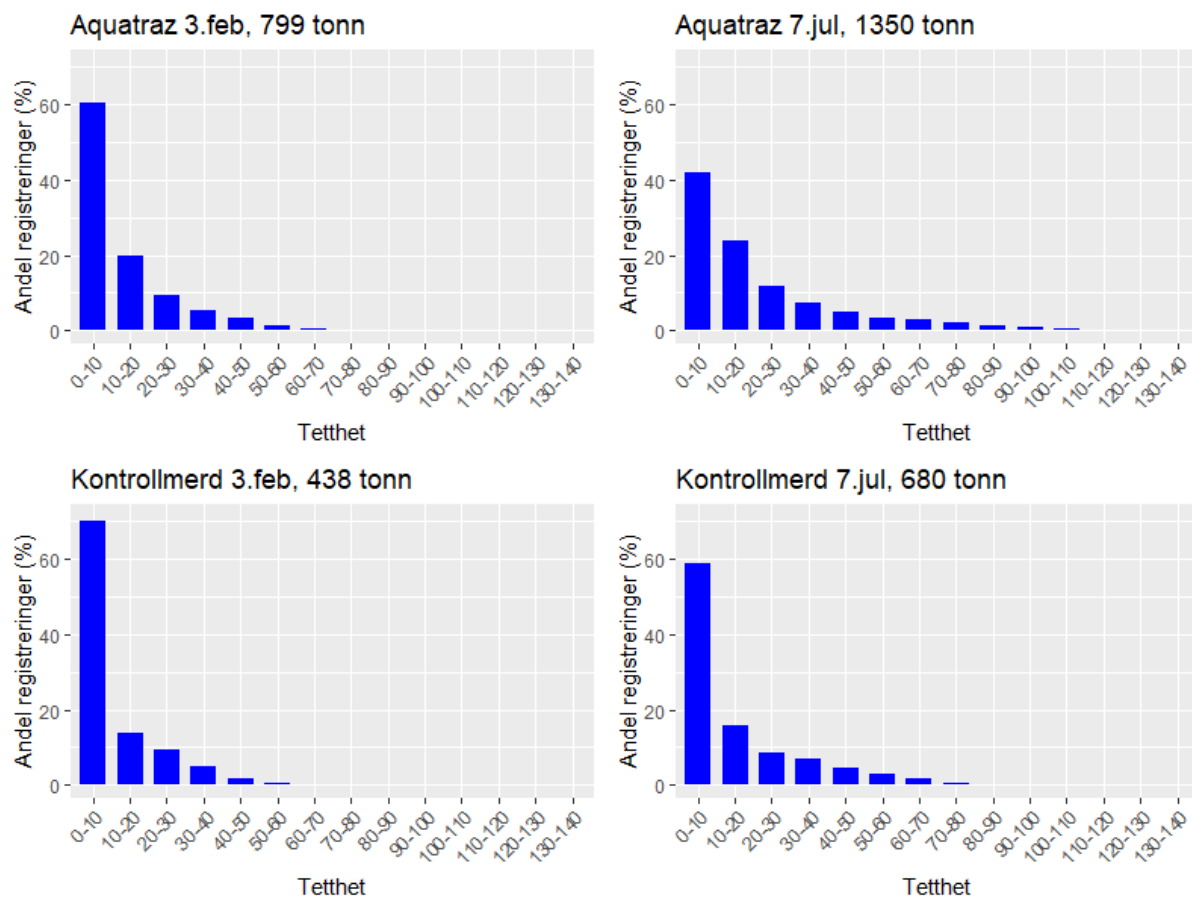


Figur 8.9: Andel registreringer (%) i x, y og z retninger fordelt på 2m intervall i Aquatraz (AQT3) og KTR.

Maksimal biomasse innen perioden oppsummert for merket fisk og for hele utsettet på Kyrøyene er gitt i tabell 8.4, sammen med beregninger av tetthet i ulike vannvolum i AQT3 og i kontrollmerden etter formelen over. Beregnet fordeling av biomassetetthet for ulike vannvolum i de to merdene er gitt i figur 8.10.

Tabell 8.4: Total biomasse og beregnet gjennomsnittlig og maksimal biomassetetthet i ulike vannvolum på to datoer som tilsvarer siste dag for oppsummering av merket fisk og dag med maksimal biomasse for utsettet.

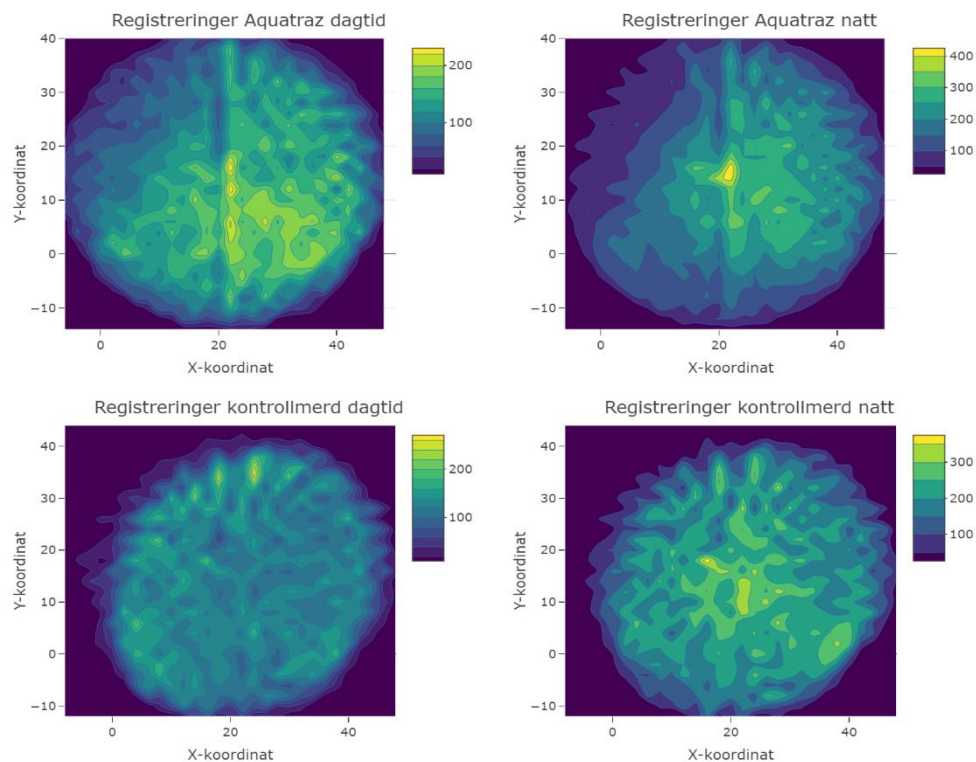
Dato	Aquatraz (AQT3)		Kontrollmerd	
	03.02.20	07.07.20	03.02.20	07.07.20
Biomasse (tonn)	790	1350	438	680
Gjennomsnitt tetthet (kg/m ³)	12	20	9	15
Maks tetthet (kg/m ³)	77	130	66	103



Figur 8.10: Beregnet fordeling av biomassetetthet (kg/m³) i ulike vannvolum i Aquatraz (AQT3) og kontrollmerd på Kyrøyene med utgangspunkt i total biomasse 3. februar og 7. juli 2020. Videre analyser av materialet fra februar til august vil gi sikrere estimat på dette, da man vil tro at både sesong (vår/sommer) og fiskestørrelse vil ha stor betydning på reel tetthet.

Tetthetsberegningene tyder på at det noe jevnere tetthet av fisk i ulike vannvolum i AQT3 enn i kontrollmerden, for eksempel ved at mindre andeler av AQT3 har svært lave tettheter av fisk.

Fordelingen av registreringer XY-planet fordelt på dag og natt i AQT3 og kontrollmerd vises i figur 8.11.



Figur 8.11: Konturplot av alle registreringer i XY-planen for alle dyp og alle fiskeindivid i Aquatraz (AQT3) og kontrollmerd på dagtid og natt.

Registreringer i XY-planen viser relativt sparsomt med registreringer for kombinasjoner av lave X-koordinater og høye Y-koordinater i AQT3. Det er også et pussig avvik mellom X-verdiene 20 og 22. Hvorvidt dette reflekterer reelle forskjeller i bruk av merden, eller om det er artefakter av støy, er usikkert. Det er generelt noe usikkerhet knyttet til støy i AQT3 på Kyrøyene og hvordan dette kan ha påvirket analysene knyttet til selve posisjoneringen. Utfordringen med støy knyttet til mottak av akustiske signal fra fiskemerkene er løst ved å bruke merker med sterkere signal i de forsøkene som pågår i AQT4.

8.4. Oppsummering

Det er innhentet detaljert informasjon om individadferd til laks i AQT3 og kontrollmerden. Teknologien fungerte tilfredsstillende i perioden, og et betydelig datasett er fremskaffet.

Oppsummert viser resultatene så langt at fisk forflytter seg hurtigere og mer over tid i AQT3 sammenlignet med kontrollmerden, både vertikalt og horisontalt. Det er store vertikale forflytninger gjennom døgnet generelt, men enkeltindivider oppfører seg ulikt hverandre i begge studiesystemene. Dette understreker igjen at individer i en oppdrettspopulasjon har ulik adferd som kan påvirke det biologiske resultatet. Dette er et kunnskapshull det bør jobbes mer med å forstå.

Den aktive volumbruken resulterer i reelt sett like eller marginalt høyere gjennomsnittlige og maksimale fisketettheter i AQT3 sammenlignet med kontrollmerd, til tross for betydelige forskjeller i antall individer og total tetthet i de to merdene.

Det er også mulig at økt svømmeaktivitet, samt at denne aktiviteten foregår i et strømsatt vannvolum, kan resultere i en treningseffekt som kan være gunstig for fiskehelse og vekst.

Volumbruken virker nokså homogen i AQT3, men med noe mindre bruk av den vestlige delen av volumet. Grunnen til dette er foreløpig ukjent.

Faktorer som dårlig vær og anleggsoperasjoner påvirker adferden til fisken. Dette er ikke uventet, men det er interessant å registrere at ytre værforhold også påvirker et relativt avskjermet vannvolum som AQT3. Mer overraskende er det kanskje at fôring ikke synes å påvirke adferden nevneverdig, da døgnmønsteret virker være stabilt uavhengig av fôrmengde eller sulting. Siden det fôres de fleste dager kan man ikke umiddelbart si at fôring ikke har noen effekt, da læring/forventning om fôr kan gjenspeiles i adferd også på dager med mindre/ingen fôring. På den annen side kan man diskutere hvor mye tid hvert individ egentlig trenger å bruke for å få tak i nok pellets per dag, og om det slik sett burde være så styrende for adferden. Hurtige forflytninger over veldig kort tid kan også vanskelig fanges opp av akustisk telemetri på grunn av fysiske begrensninger på fart på signaloverføring mm. Nærmere analyser av akselerasjonsmønster vil bli gjennomført på et senere tidspunkt, og kan forhåpentligvis besvare noe av denne spørsmålsstillingen.

Etter at kvalitetssikring av alle data er ferdigstilt vil det gjøres analyser på hele datasettet som er frembrakt i perioden frem til utslakting på Kyrøyene. I dette ligger også en sammenligning av resultater med AQT1 og pågående dokumentasjonsinnhenting i AQT4. Dette vil bli dokumentert i senere rapporter i prosjektet.

9. Vannkvalitet, dyreplankton og mikroalger

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

Delkapittel 9.2.1 av: Karen Fosse Sivertsen, Aqua Kompetanse AS

9.1. Formål og bakgrunn

NIVA har hatt ansvar for prøvetaking og analyser av vannkjemi, alger, dyreplankton og sensordata i biologiprogram2/ merdgenerasjon 2 av Aquatraz på Kyrøyene. Aqua Kompetanse AS har utarbeidet protokoll og sammenstilt hydrografiske målinger fra Kyrøyene, disse er beskrevet i delkapittel 9.2.1. Målet med dette arbeidet har vært å sammenligne produksjonsmiljøet i utviklingskonsesjonsenheten Aquatraz 3 (AQT3) opp mot en av de konvensjonelle merdene som ble brukt på lokaliteten, heretter kalt KTR. Miljøet (vannkvaliteten og vannbårne agens) ble også dokumentert i det tilstrømmende vannet (tilst. vann) for å få et grunnlag for å vurdere potensielle utfordringer på lokaliteten knyttet til vannmiljøet. Vannprøver for vannkvalitet, mikroalger og zooplankton ble analysert fra tilst. vann, AQT3 og KTR en gang per måned (tabell 9.1).

Tabell 9.1: Prøvetakingsstasjoner for vannkvalitet og vannbårne agens på lokaliteten Kyrøyene.

Målepunkt	Vannkvalitet: Prøvetakingsdyp (vannhenter)	Alger: Prøvetakingsdyp (vannhenter)		Zooplankton: Prøvetakingsdyp (håvtrekk)
Tilst. vann	7 m	Dyp1: 7 m	Dyp 2: 20 m	15 m til overflaten
AQT3	7 m	7 m		15 m til overflaten
KTR	7 m	7 m		15 m til overflaten

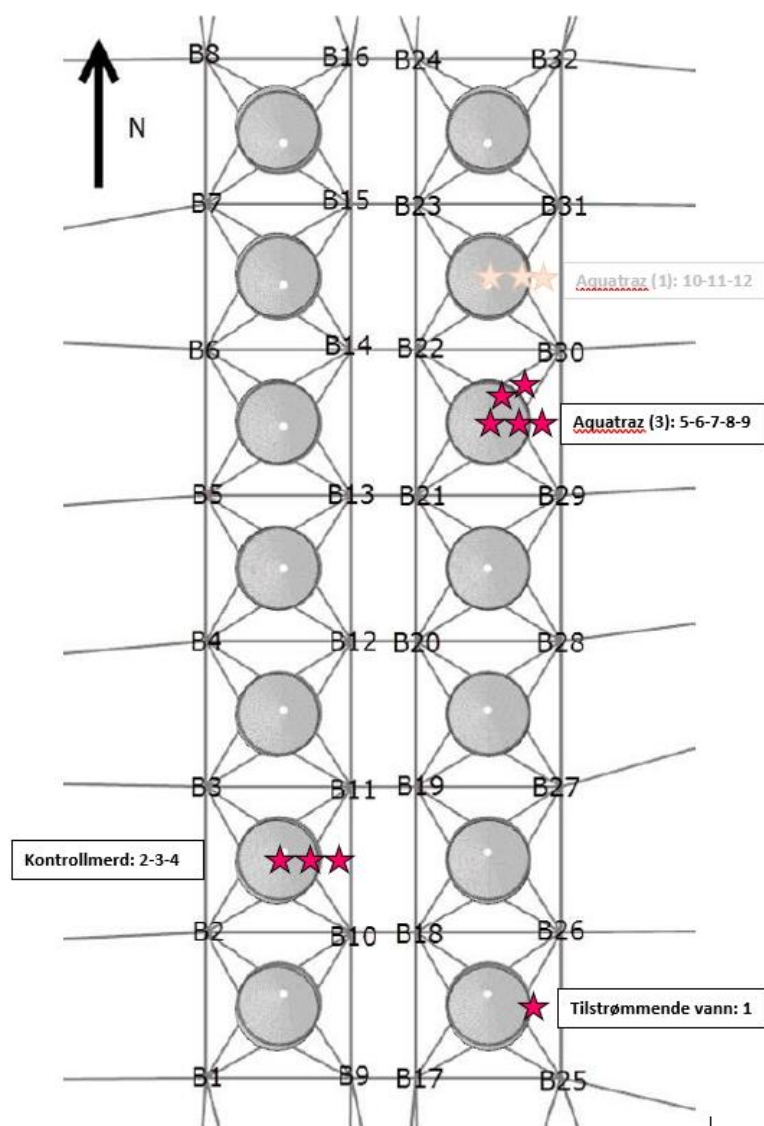
9.2. Vannkvalitet

9.2.1. Hydrografiske profiler (CTDO)

Som en del av BP2 på Kyrøyene er det utført hydrografiske profiler ved 9 (12) faste stasjoner (tabell 9.2 og figur 9.1) fordelt på 16 måledatoer spredt gjennom perioden 12.12.2019 til 21.08.2020. Et utvalg av figurer basert på resultatene fra disse målingene er presentert i kapittel 14, Vedlegg, punkt 14.2.

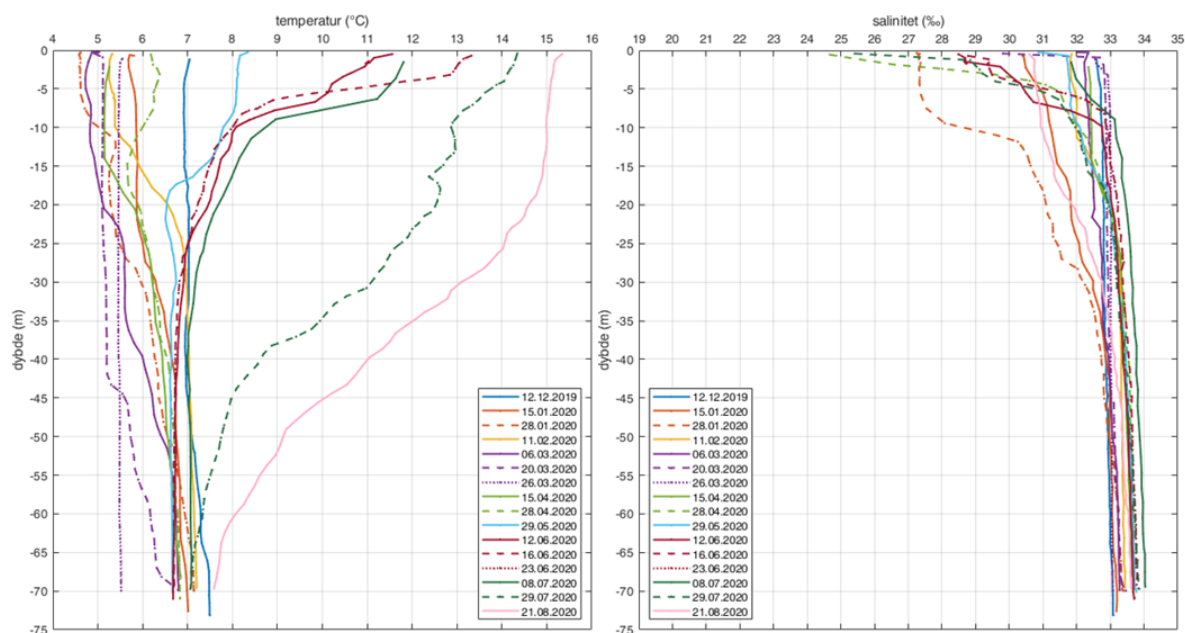
Tabell 9.2: Beskrivelse av de 12 hydrografiske stasjonene på lokaliteten Kyrøyene

Stasjonsnummer	Merd	Beskrivelse	Ca. dyp (meter)
H1	Merd 7	Tilst. vann	70
H2	KTR	Inne i merd 5, så nær senter som mulig	20
H3	KTR	Inne i merd 5, ved skjørtvegg i øst	15
H4	KTR	Utenfor merd 5 (østsiden)	28
H5	AQT3	Inne i Aquatraz, så nær senter som mulig	32
H6	AQT3	Inne i Aquatraz, ved yttervegg fra gangbro	22
H7	AQT3	Utenfor Aquatraz (østsiden)	28
H8	AQT3	Inne i Aquatraz, ved merdvindu	22
H9	AQT3	Utenfor Aquatraz, ved merdvindu	28



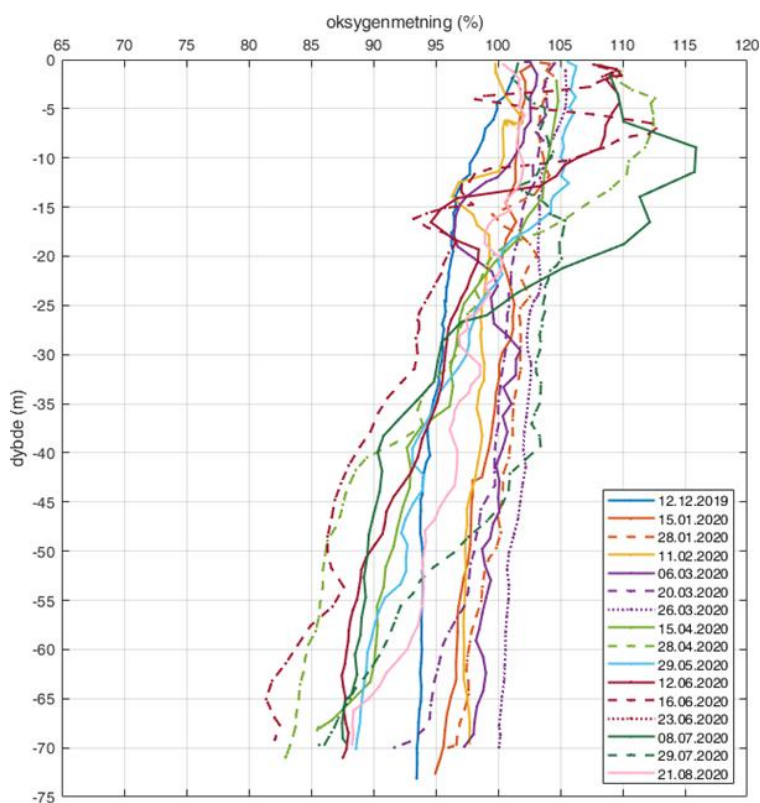
Figur 9.1: Bøenummerering ved Kyrøyene, hvor rekkefølgen på CTD-profilene er angitt for de aktuelle merdene (1-9, 10-12 diskuteres ikke her). Nord er angitt med sort pil. Kontrollmerd er merd 5 og tilstrømmende vann er merd 7.

Forholdene i stasjon H1 «tilst. vann» viser tilnærmet naturgitt utgangspunkt gjennom måleperioden ved Kyrøyene. Det er omtrent 70 meter dypt ved stasjonen, og CTD-profilene presenterer data fra hele vannsøylen. Temperaturprofilene (figur 9.2, til venstre) viser en naturlig utvikling med årstidene gjennom året, mens salinitetsprofilene (figur 9.2, til høyre) presenterer spredte perioder med lavere salinitet i øvre halvdel av vannsøylen (ned mot 35 meters dyp) eller overflatelaget (5–10 meters dyp). Lavere salinitet i øvre halvdel av vannsøylen vises i stadig tydeligere grad gjennom januar 2020, samt i måleperiodens siste måling i august. Et overflatelag med lavere salinitet er tydelig for slutten av april, midten av juni og slutten av juli. Nedre halvdel av vannsøylen er relativt stabil mht. salinitet gjennom hele måleperioden.



Figur 9.2: Temperatur (°C, til høyre) og salinitet (‰, til venstre) i stasjon H1 (merd 7, tilst. vann) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni 2020. Se Vedlegg (14.2) for større figurer.

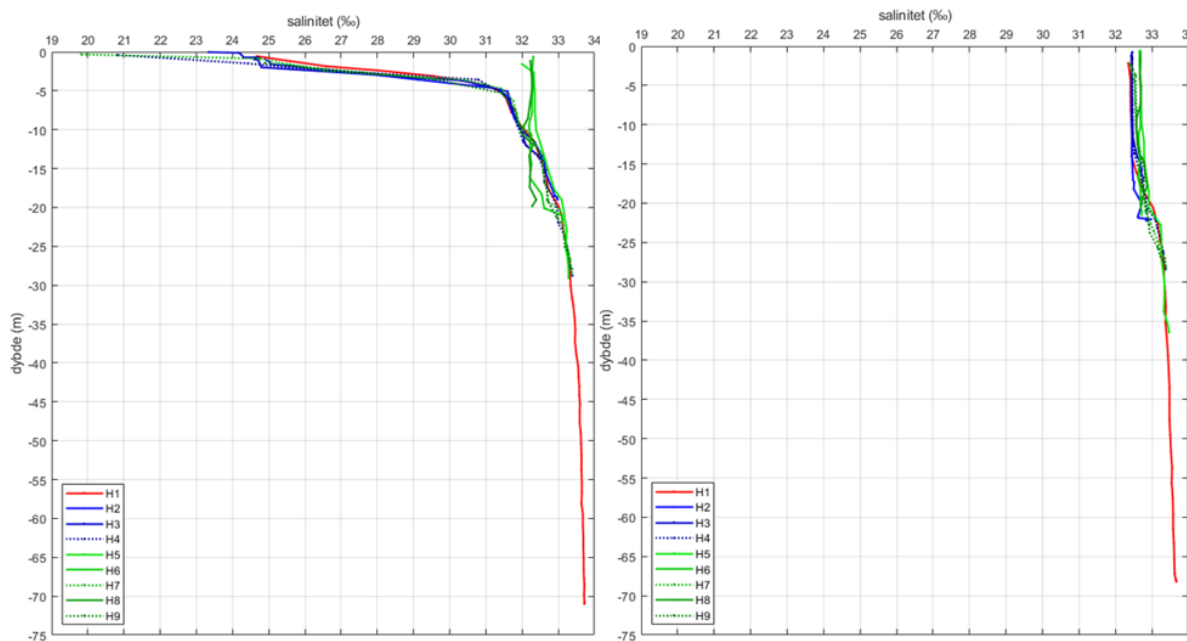
Oksygenforholdene har også vært svært gode gjennom hele måleperioden med metning over 80 % (konsentrasjon over 5,5 ml/l) i hele vannsøylen ved alle måledatoer (figur 9.3). Størst oksygenovermetning ser vi i eufotisk sone (øvre vannlag som har tilstrekkelig lys til at fytoplankton kan ha fotosyntese) i slutten av april, alle målinger fra juni og begynnelsen av juli, som samsvarer med perioder med antatt høy biologisk aktivitet i denne delen av vannsøylen.



Figur 9.3: Oksygenmetning (%) i stasjon H1 (merd 7, tilstrømmende vann) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni 2020. Se Vedlegg (14.2) for større figurer.

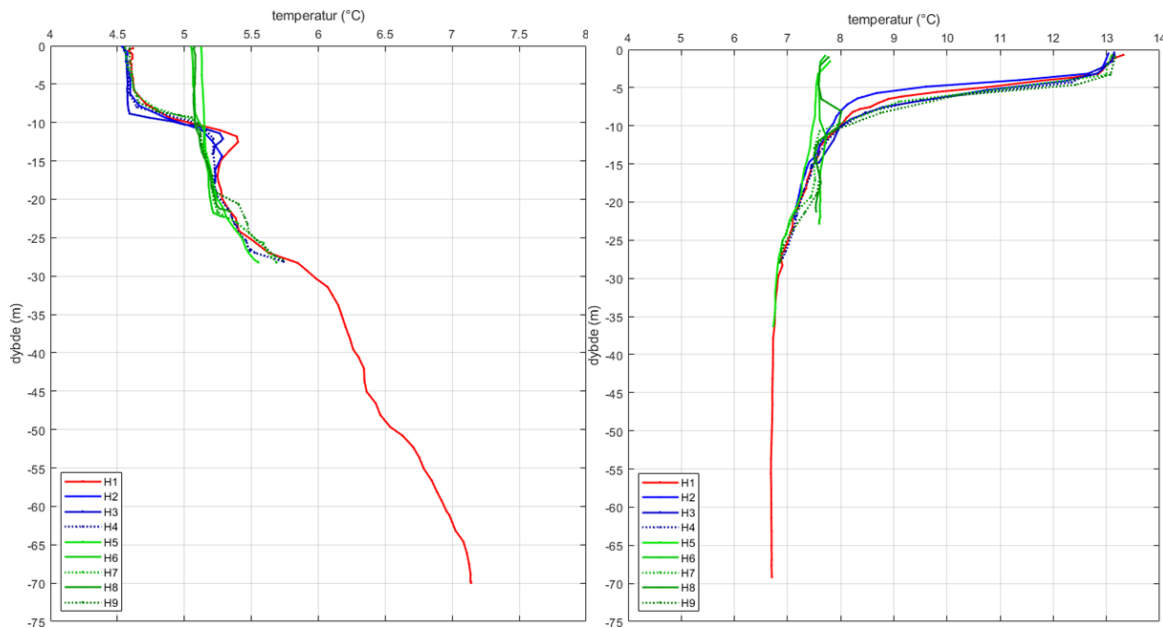
I KTR (H2, H3, H4) registreres samme variasjoner gjennom måleperioden i salinitet og temperatur som for tilst. vann (H1) på tilsvarende dyp, og det er lite forskjell mellom målingene inne i og utenfor KTR. Overflatelagene med lavere salinitet er også synlige i KTR, og temperaturen varierer naturlig med årstidene. Det samme gjelder salinitets- og temperaturprofilene tatt like utenfor AQT3 (H7, H9). Profilene tatt inne i AQT3 (H5, H6, H8) viser stort sett homogene profiler med godt miksed vannmasser, men med sesongvariasjoner.

Generelt er saliniteten målt inne i AQT3 noe høyere enn ved de andre stasjonene. Stort sett følger profilene utenfor AQT3, ved KTR og i tilst. vann hverandre gjennom vannsøyla, og møter profilen fra AQT3 på rundt 10 meters dyp (se figur 9.4, venstre side for eksempel på denne utviklingen). I målingene gjort i januar er saliniteten høyest i AQT3, noe lavere utenfor AQT3, igjen lavere for KTR og til slutt tilst. vann. At saliniteten er høyere inne i AQT3 følger av at vannet pumpes opp fra under merden, og at saliniteten naturlig er noe høyere lengre ned i vannsøylen. Ved første måling i desember 2019, alle målingene i mars og første måling i april følger også profilene fra AQT3 de andre profilene gjennom hele vannsøylen og presenterer en godt mikset vannsøyle med hensyn til salinitet ved alle stasjoner (se figur 9.4, høyre side for eksempel på denne utviklingen).



Figur 9.4: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 28.04.2020 (venstre) og 15.04.2020 (høyre) ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen for stasjonsnummer tilhørende hver graf. Se Vedlegg (14.2) for større figurer.

Temperaturprofilene fra innsiden av AQT3 skiller seg fra resten av temperaturprofilene på stort sett samme måte som salinitetsprofilene, og samtlige profiler samles fra omtrent 10 meters dyp og har tilnærmet lik utvikling videre nedover vannsøylen. Temperaturen er høyere inne i AQT3 enn ved de andre målestasjonene gjennom første halvdel av måleperioden (se figur 9.5, venstre side for eksempel på denne utviklingen). Om vinteren kjøles havet ned fra overflaten og temperaturen vil stige med dypet. Når vann føres opp i AQT3 vil temperaturen være høyere enn omkringliggende vannmasser på samme dyp. I mars-april endrer dette seg, og temperaturen inne i AQT3 er lavere enn den er ved de andre målestasjonene (se figur 9.5, høyre side for eksempel på denne utviklingen). Gjennom våren og sommeren varmes havet opp fra overflaten, og varmere vannmasser blir liggende over kaldere vannmasser. Når vann føres opp i AQT3 vil temperaturen være lavere enn omkringliggende vannmasser på samme dyp. Profilene tatt utenfor AQT3, ved KTR og ved tilst. vann følger stort sett hverandre gjennom hele vannsøylen, men særlig i februar og begynnelsen av mars er det en del variasjon i de andre temperaturprofilene.

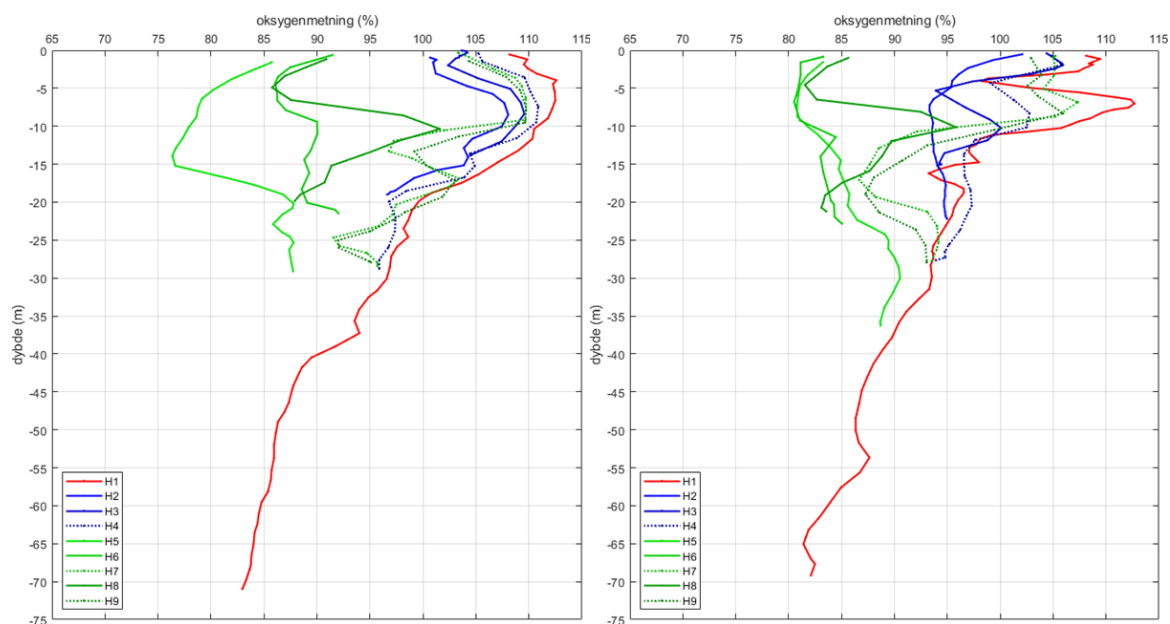


Figur 9.5: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 28.01.2020 (venstre) og 16.06.2020 (høyre) ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen for stasjonsnummer tilhørende hver graf. Vær obs på ulike verdier langs x-aksen. Se Vedlegg (14.2) for større figurer.

Profilen tatt mot sentrum av AQT3 skiller seg av og til fra de andre salinitets- og temperaturprofilene tatt inne i merden, noe som tyder på at det ikke alltid er jevn omrøring inne i AQT3. Dette kommer fram i målingene fra 06.03.2020, 29.05.2020 og 21.08.2020.

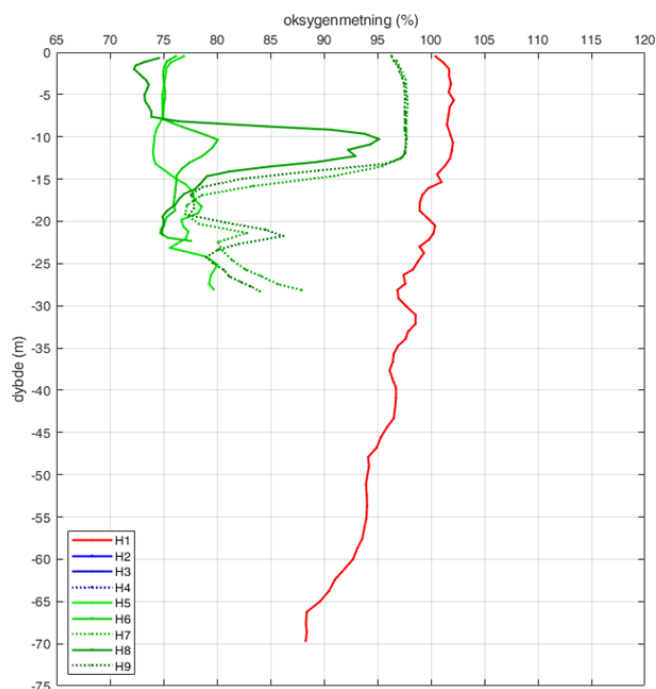
Ved samtlige måledatoer har profilene for oksygenmetningen i øvre del av vannsøylen høyeste verdier i tilst. vann og laveste verdier inne i AQT3. Stort sett er verdiene for oksygenmetningen på utsiden av AQT3 høyere enn verdiene ved KTR, men i april er oksygenmetningen utenfor KTR høyere enn verdiene registrert utenfor AQT3 og inne i KTR. På samme måte som profilene for salinitet og temperatur tatt på samme måledato ser ut til å samles under merddyp og følge hverandre nedover vannsøylen, viser også oksygenprofilene i flere tilfeller tilsvarende utvikling nedover vannsøylen, men dette mønsteret er ikke alltid like tydelig.

Den 28.04.2020 observeres store forskjeller i oksygenmetningen mellom stasjonene (figur 9.6, venstre). I tilst. vann og ved KTR er det overmetning ned til omtrent 20 meters dyp. Like utenfor AQT3 observeres overmetning ned til omtrent 10 meters dyp, mens langs kanten inne i AQT3 ligger verdiene i øvre del av vannsøylen på 85 til 90 % og i sentrum på ± 80 % metning. Den 16.06.2020 presenterer profilen tatt for tilst. vann store svingninger i oksygenmetningen med dypet (figur 9.6, høyre). Disse variasjonene ser vi igjen i profilene tatt utenfor AQT3 og delvis ved merdvinduet i AQT3, men ikke ved de andre stasjonene inne i AQT3. I og ved KTR er disse svingningene tilstedeværende, men mindre framtreddende. De store variasjonene i oksygenmetning, både mellom stasjoner og observert som svingninger i samme profil, kommer trolig av at oksygenmetning er avhengig av mange faktorer sånn som bl.a. biologisk aktivitet, temperatur, trykk og strømforsyning. De interne forskjellene i oksygenmetning inne i Aquatraz er synlige ved samtlige måledatoer. Målingen tatt like ved merdvinduet (H8) viser forhøyede oksygenverdier sammenliknet med resten av profilen og kommer av at oksygenrikt vann trenges inn.



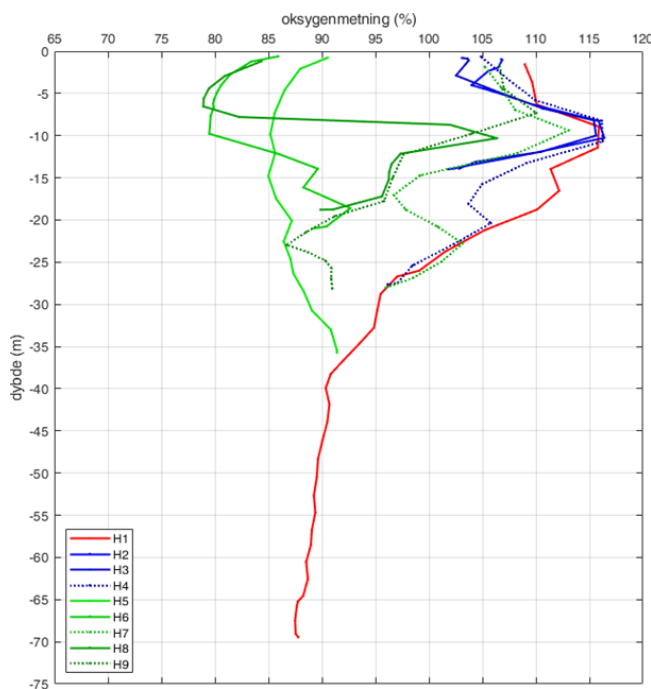
Figur 9.6: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 28.04.2020 (venstre) og 16.06.2020 (høyre) ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen for stasjonsnummer tilhørende hver graf. Se Vedlegg (14.2) for større figurer.

Noen måledatoer skiller seg ut med lavere oksygenmetning inne i AQT3 sammenliknet med tilst. vann og målingene gjort like utenfor AQT3. Denne kontrasten er størst mot slutten av måleperioden, bl.a. i målingene fra 08.07.2020 og 29.07.2020. Tydeligst er profilen fra 21.08.2020, spesielt over og under merdvinduet (figur 9.7). Dette er fra måleprogrammets siste CTDO-måling, utslakt var allerede godt i gang og fisketettheten var nede i kun 15 kg/m³. Den (til sammenlikning) lave oksygenmetningen skyldes trolig begroing på merden.



Figur 9.7: Oksygenmetning (%) i stasjon H1 og H5–H9 målt 21.08.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke målt i stasjon H2–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen for stasjonsnummer tilhørende hver graf. Se Vedlegg (14.2) for større figurer.

Oksygenprofilene på de tre stasjonene inne i AQT3 presenterer nokså ulike mønster. I stor grad viser profilene tatt fra sentrum av AQT3 en homogen vannsøyle mht. oksygenmetning. Oksygenprofilene tatt ved merdvinduet i AQT3 viser et vannlag på rundt 10 meters dyp med forhøyede oksygenverdier sammenliknet med resten av vannsøylen (se figur 9.8 for eksempel på denne utviklingen), selv om profilene for temperatur og salinitet viser en godt mikset vannsøyle i dette punktet. Dette er særlig tydelig i siste halvdel av måleperioden. Profilene tatt ved ytterveggen langs gangbroen på AQT3 viser en tendens til hopp i oksygenverdier på omtrent 10 meters dyp, også mest tydelig mot slutten av måleperioden, men på langt nær like tydelig som profilene tatt ved merdvinduet. Oksygenprofilene gjort utenfor AQT3 tilsvarer tilst. vann i de øvre 10-15 meterne av vannsøylen, men varierer mer videre nedover vannsøylen. Trolig påvirkes vannsøylen av prosessene som fører vann inn i AQT3.



Figur 9.8: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 08.07.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen for stasjonsnummer tilhørende hver graf. Se Vedlegg (14.2) for større figurer.

Oksygenmålingene utført utenfor KTR viser tilnærmet samme utvikling som i tilst. vann, mens målingene tatt inne i KTR også viser samme mønster, men stort sett med litt lavere verdier. Det er mindre forskjell på profilene hentet fra sentrum av merden og ved merdkanten i KTR enn i AQT3. Mot slutten av måleperioden ble det ikke utført målinger i KTR ved alle måledatoene.

9.2.2. Sensordata

Oksygen (O_2), temperatur og salinitet har vært overvåket i sanntid ved hjelp av fastmonterte sensorer. Disse har vært montert i tilst. vann ved en tom merd i anlegget, i KTR og i AQT3, måleparameterne på de ulike dypene er gitt i tabell 9.3. Sensorene har vært online og parameterne har blitt logget hvert 10. minutt. Data fra perioder med tydelig driftsfeil i en eller flere sensorer har blitt fjernet. Erfaring fra det første biologiprogrammet er at ved driftsfeil i sensoren eller når sonden trenger rengjøring, så viser sensoren en falsk overmetning av oksygen. Det er derfor benyttet en cut-off på 105% oksygenmetning, og alle verdier over 105% er fjernet.

Tabell 9.3: Dybdeplassering av onlinesensorer og måleparametere.

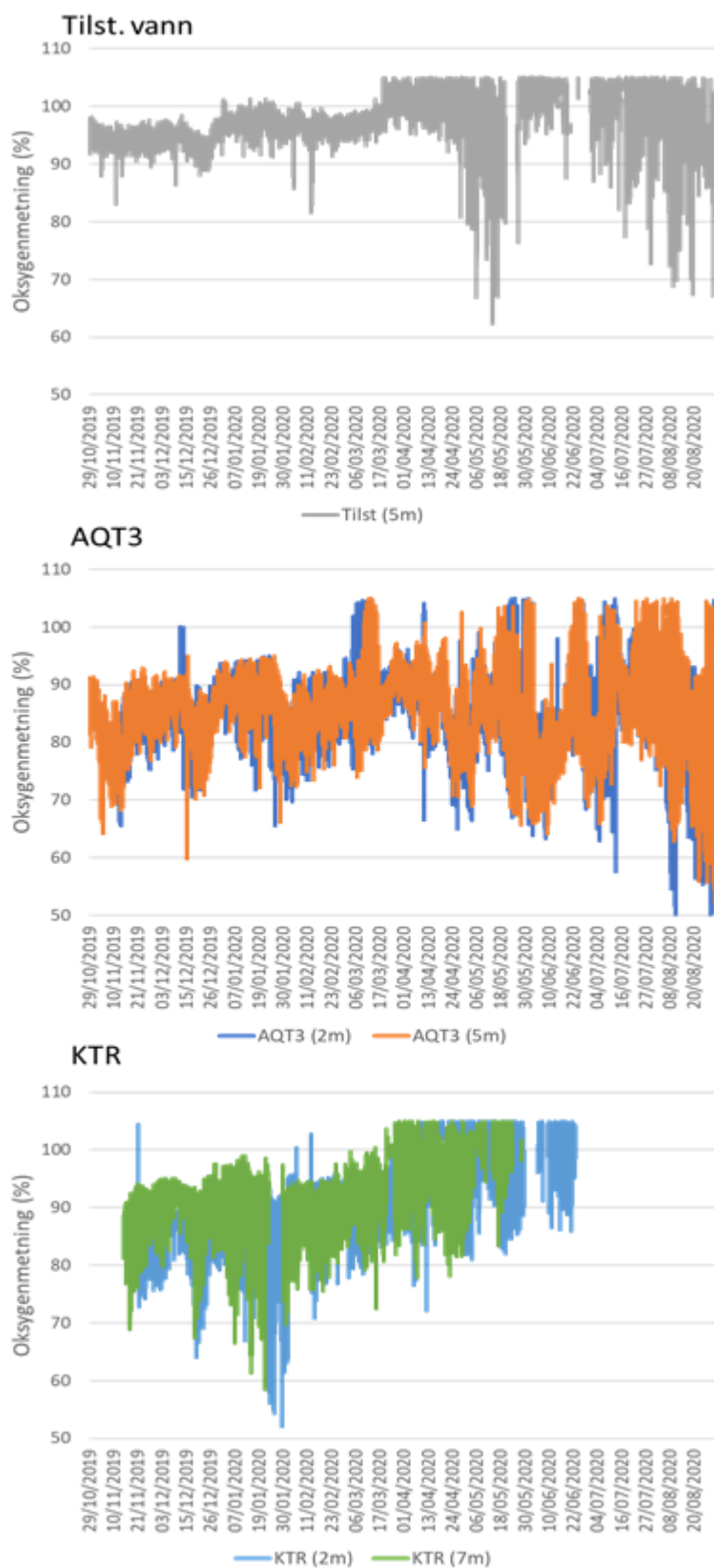
Parameter	Målepunkt	dyp (m)
O ₂	Tilst. vann	5
	AQT3	2 og 5
	KTR	2, 7 og 15
Temp	Tilst. vann	5
	AQT3	2, 5
	KTR	2, 7 og 15
Salinitet	Tilst. vann	5 og 30
	AQT3	2 og 5
	KTR	7

Eksterne faktorer slik som fôrpartikler, avføring og groe på sensoren vil påvirke sensormembranens permeabilitet og funksjon, i tillegg skaper groe-organismenes respirasjon et mikromiljø rundt sensoren med lavere oksygen enn det som er realiteten. Vi har ekskludert høye O₂-verdier på over 105% som ofte korrelerer med økt temperatur, noe som tydelig viser at sensoren er ute av drift. Vanskeligere er det å bedømme om lave O₂-verdier er reelle eller oppstår på grunn av groe eller andre faktorer som påvirker sensormembranens permeabilitet. Det er derfor ikke grunnlag for å sette noen nedre cut-off for lave verdier. Resultatene fra samtlige målte stasjoner viser en større variasjon og en del plutselige dropp i O₂ (under 60% metning) (figur 9.9) som ikke nødvendigvis gjenspeiler virkeligheten. Det er spesielt O₂-metning som er følsom for ytre faktorer, men også salinitet kan påvirkes av groe. Proben trenger jevnlig rengjøring og kalibrering. Dermed må dataene tolkes med forbehold, dvs. den store datamengden gir et godt grunnlag for å se på forskjeller mellom målepunkter, men absolutte verdier kan være misvisende.

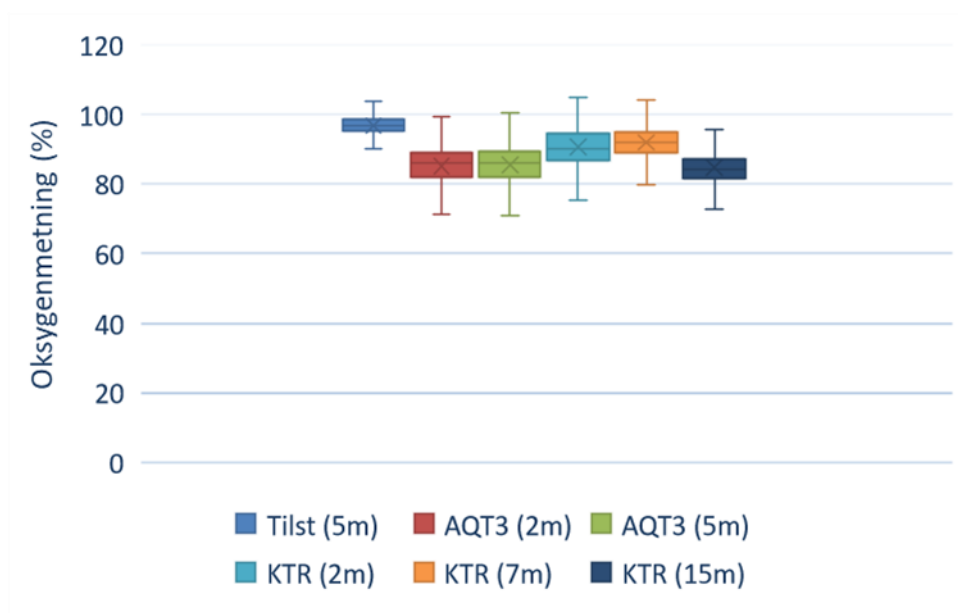
AQT3 har systematisk hatt lavere O₂-nivåer enn både KTR og tilst. vann (figur 9.9 og 9.10). Effekten av lave O₂-nivåer på produksjon (vekst) og dyrevelferd avhenger i stor grad av tetthet og temperatur. Imidlertid om man ser på hele produksjonsperioden (november 2019 til august 2020) var den gjennomsnittlige O₂-metningen i AQT3 (85%) godt over nivåer hvor man ville kunne se en adferdsendring hos fisken (reduert appetitt). Det var særlig på sensommeren at det var en økt variasjon i O₂-metning, med til tider lave nivåer (<60%) i AQT3. I dette tilfellet sammenfaller ikke de laveste O₂-nivåene med den høyeste fisketettheten, da en stor del av biomassen ble slaktet ut tidlig på sommeren. Overraskende nok var O₂-metningen faktisk høyere gjennom dagen da fisketettheten var høy sammenlignet med lav tetthet, både i AQT3 og KTR (se Vedlegg, figur 14.67). Den høyere O₂-konsentrasjonen i AQT3 kan trolig forklares av at stort sett alle fire strømsettere var mer gjennomgående i bruk våren/ sommeren 2020 sammenlignet med november 2019. Sensor- og til dels CTDO-dataene indikerer at hovedårsaken til den synkende O₂-metningen i AQT3, om sensommeren, er den lavere og mer varierende O₂-metningen i det tilstrømmende vannet. Groeorganismer på veggene inne i AQT3 som konsumerer O₂ og reduserer vannutskiftningen kan også ha bidratt.

Sett over hele perioden har AQT og KTR hatt en gjennomsnittstemperatur som er høyere enn det tilst. vannet på 5 m dyp (fig. 9.11). Det var en mer stabil temperatur i AQT3 sammenlignet med KTR (2 og 7m) særlig om våren og sommeren. Det å unngå store temperatursvingninger er positivt for fisken. Gjennom vinteren (25.11.2019 til 29.02.2020) var temperaturen noe varmere i AQT3 sammenlignet med KTR særlig på 2 m dyp. En noe lavere temperatur på vår og sommer sammenlignet med KTR kan muligens ha bidratt til en lavere appetitt og vekst i AQT3 i denne perioden. En mer stabil temperatur, som er høyere om vinteren og lavere om våren/sommeren indikerer at vannet i AQT3 kommer fra et større dyp enn vannet i KTR. I tillegg har vannet i AQT3 (5m) hatt en gjennomgående høyere salinitet enn vannet i KTR (7m) og er mer lik det tilst. vann på

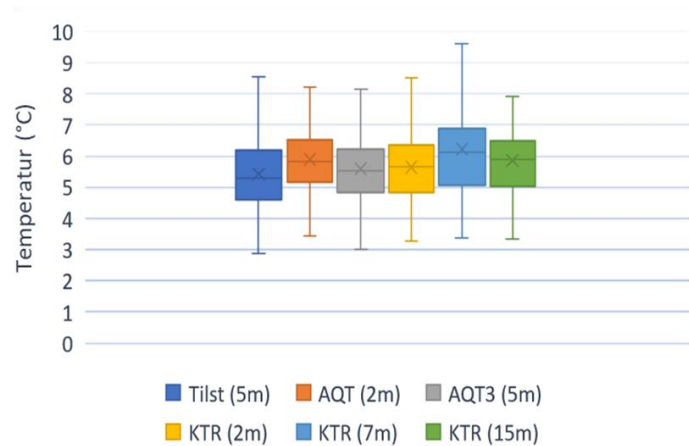
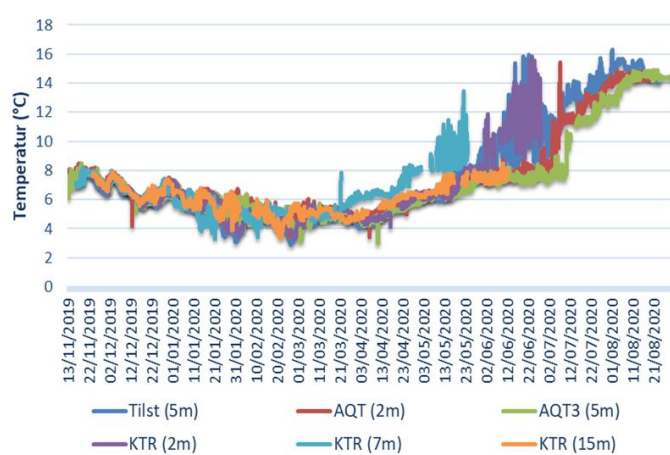
30m dyp (figur 9.12), et ytterligere bevis på at vannet som kommer inn i AQT3 kommer fra større dyp.



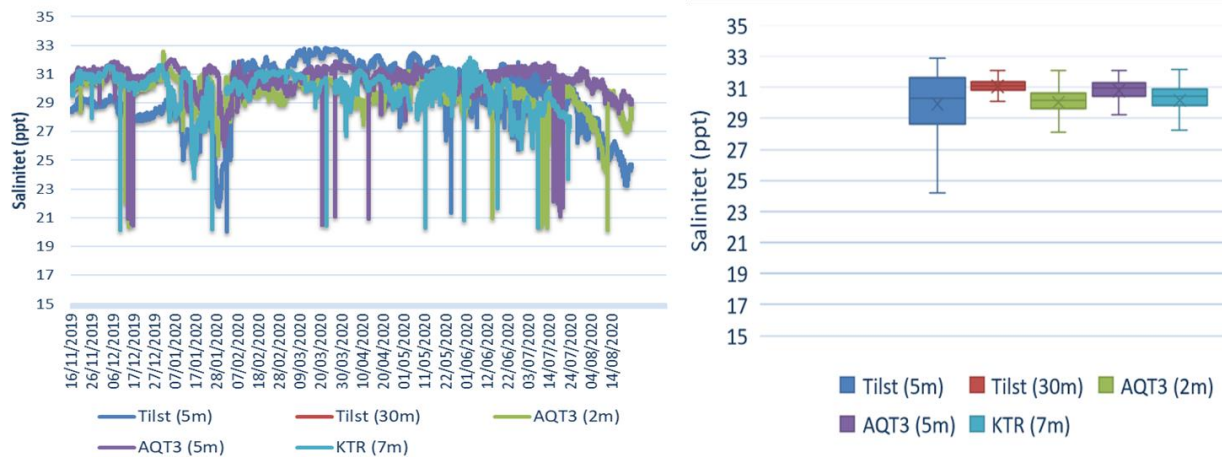
Figur 9.9: O₂-metning (i % av luftmetning) målt i tilst. vann (øverst) AQT3 (midten), KTR (nederst) fra 29. oktober 2019 til august 2020.



Figur 9.10: Boksplott O_2 -metning (i % av luftmetning) målt i tilst. vann, AQT3 og KTR i perioden 25. november 2019 til 30. juni 2020 (utvalgt ut fra at det var produksjon i AQT3 og KTR og sensorer var i drift).



Figur 9.11: Temperatur (°C) målt i tilst. vann, AQT3 og KTR i perioden 13. november 2019 til 31. august 2020. Data i boksplottet er fra perioden 25. november 2019 til 30. juni 2020 (utvalgt ut fra at det var produksjon i AQT3 og KTR og alle sensorer var i drift).



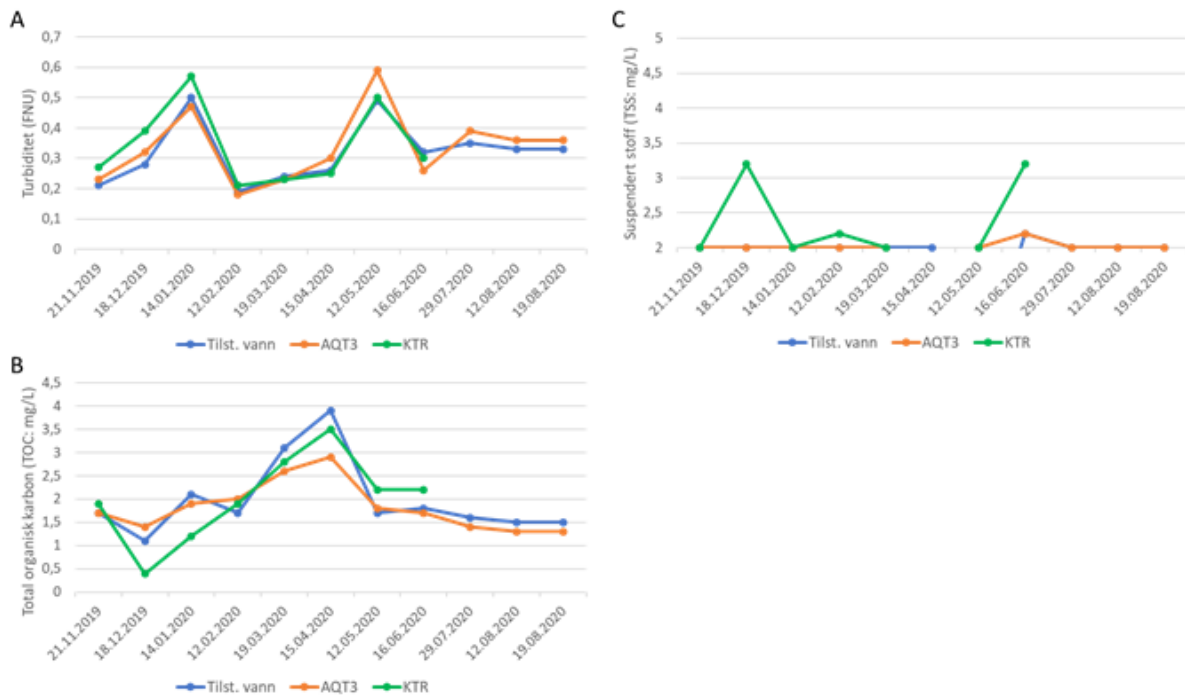
Figur 9.12: Salinitet (ppt) målt i tilst. vann, AQT3 og KTR i perioden 16. november 2019 til 31. august 2020. Data i boksplottet er fra perioden 25. november 2019 til 30. juni 2020 (utvalgt ut fra at det var produksjon i AQT3 og KTR og alle sensorer var i drift).

9.2.3. Vannkjemi

Prøvetakingsplanen ble fulgt og vannprøver for sammenligning av vannets partikkelinnhold mellom tilst. vann, AQT3 og KTR ble tatt ut en gang per måned, med oppstart 21.11.2019. Den siste prøven ble tatt 16.06.2020 i KTR og 19.08.2020 i AQT3 og tilst. vann. Prøvene ble tatt med vannhenter fra 7 m dyp på samtlige prøvetakingsstasjoner (tabell 9.1). Partikkelinnholdet ble målt som turbiditet, total organisk karbon (TOC) og total suspendert stoff (TSS) og analysert i henhold til akkrediterte metoder av Eurofins Environment Testing Norway AS.

Det er generelt en økt risiko for akkumulering av partikler i lukkede eller semilukkede anlegg med redusert vannutskiftning sammenlignet med åpne merder. I sjøvann er en økning av partikler og organisk materiale i hovedsak negativt fordi det gir næring og fører til mikrobiell vekst, 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).

I perioden var turbiditets-, TOC- og spesielt TSS-nivåene veldig lave på alle prøvetakingsstasjoner (figur 9.13). Turbiditet og TSS var til tider noe høyere i KTR sammenlignet med AQT3 og tilst. vann i perioden (figur 9.13 A og C). TSS var under den nedre deteksjonsgrensen på 2 mg/L i det tilst. vannet og AQT3 i stort sett hele perioden (figur 9.13 C). Vannets karboninnhold (TOC) økte på våren (alle stasjonene) for å siden synke noe og stabiliseres utover sommeren (AQT3 og tilst. vann), se figur 9.13 B, denne trenden kan sannsynligvis forklares av algebiomassen som viser samme mønster. Samlet sett så er det ingen indikasjoner på akkumulering av partikler i AQT3 noe som indikerer at vannutskiftningen var god. Når det var fisketettheter over 25 kg/m³ i AQT3 var det fortsatt svært lave nivåer av metabolittene CO₂ og NH₃-N (se tetthetsrapporten, dokument nr AQT-MNH-BIO-007), noe som styrker konklusjonen om at vannutskiftningen var god.



Figur 9.13: A) Turbiditet (FNU) B) Totalt organisk karbon (TOC, mg C/L) og C) Suspendert stoff (TSS, mg/L) i prøver fra AQT3 7 m (oransje), KTR 7 m (grønn) og tilst. vann 7 m (blå). Deteksjonsgrensen for TSS er >2 mg/L.

9.3. Vannbårne agens

9.3.1. Dyreplankton: hovedfokus lakselus

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: tilst. vann, AQT3 og KTR. Tre slike trekk ble slått sammen til én prøve.

De første prøvene ble konserverte i saltsprit i et forsøk på å bevare pigmentering på nauplius-larvene. Dette lyktes imidlertid i liten grad, og senere prøver ble derfor konserverte med Lugols løsning. De få larvene som fortsatt hadde synlig pigmentering var utvilsomt lakselus, og størrelsesfordelingen av nauplius-larvene tyder også på dette (nauplius-larver av skottelus er litt mindre enn lakselus, men det er overlapp i størrelse og dette er derfor ikke et sikkert kriterium for å skille mellom dem).

På laboratoriet ble prøvene gjennomgått under stereolupe med fokus på frittsvømmende larvestadier av lakselus. Øvrig dyreplankton ble ikke talt opp, men artsutvalget ble registrert i alle prøver. Prøvene fra KTR og særlig AQT3 inneholdt mye grums (partikler av feces, fôr-rester og slim), noe som gjorde opparbeidelsen av prøvene vanskelig og tidkrevende. En av prøvene fra KTR (16. juni 2020) var så full av grums at den var umulig å analysere. Vi mangler derfor tall for denne prøven.

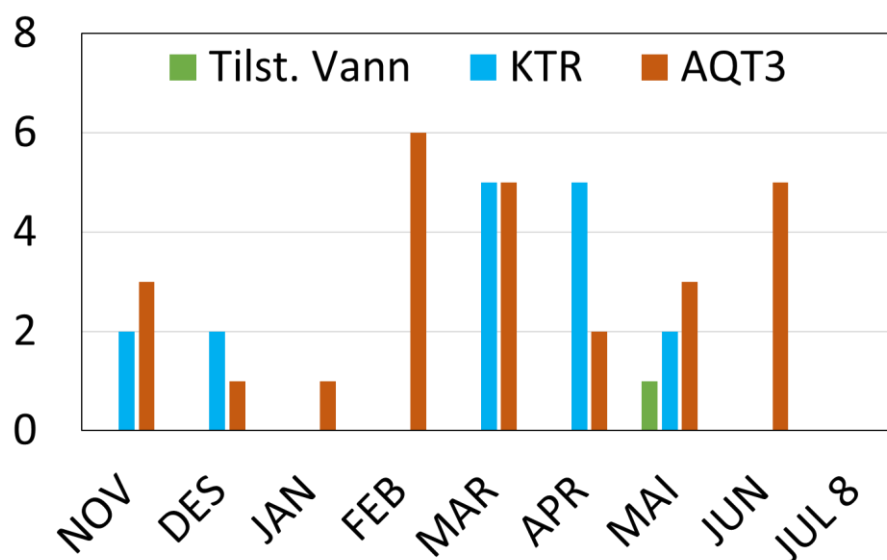
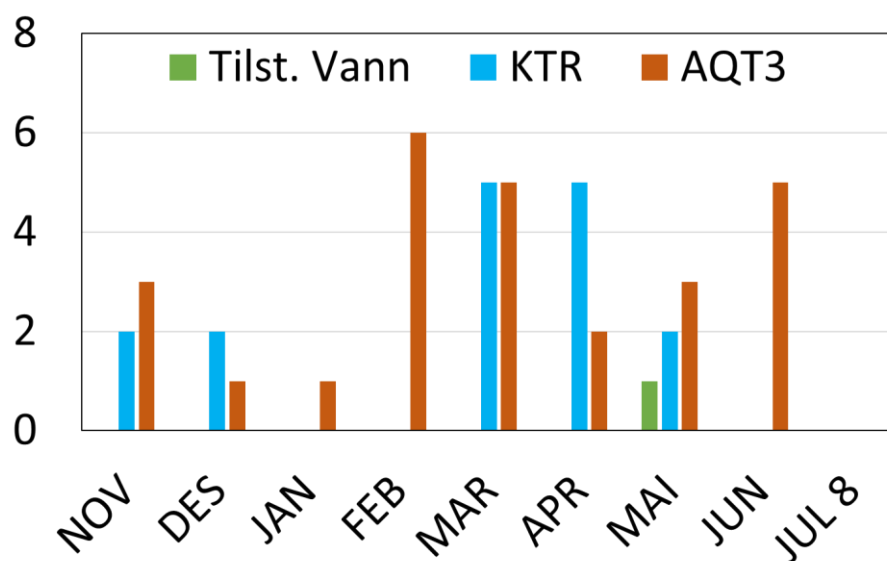
Det ble generelt påvist ganske få larver av lakselus (tabell 9.4). De fleste av disse var i stadium nauplius I og nauplius II. I KTR forekom en enkel preadult lus 21. november, og en enkelt copepoditt-larve 18. desember 2019.

Tabell 9.4: Forekomst av larver av lakselus. Skinnkast fra eldre stadier er også notert. N=nauplius, pread.= preadult, cop.= copepoditt, chalim.=chalmus.

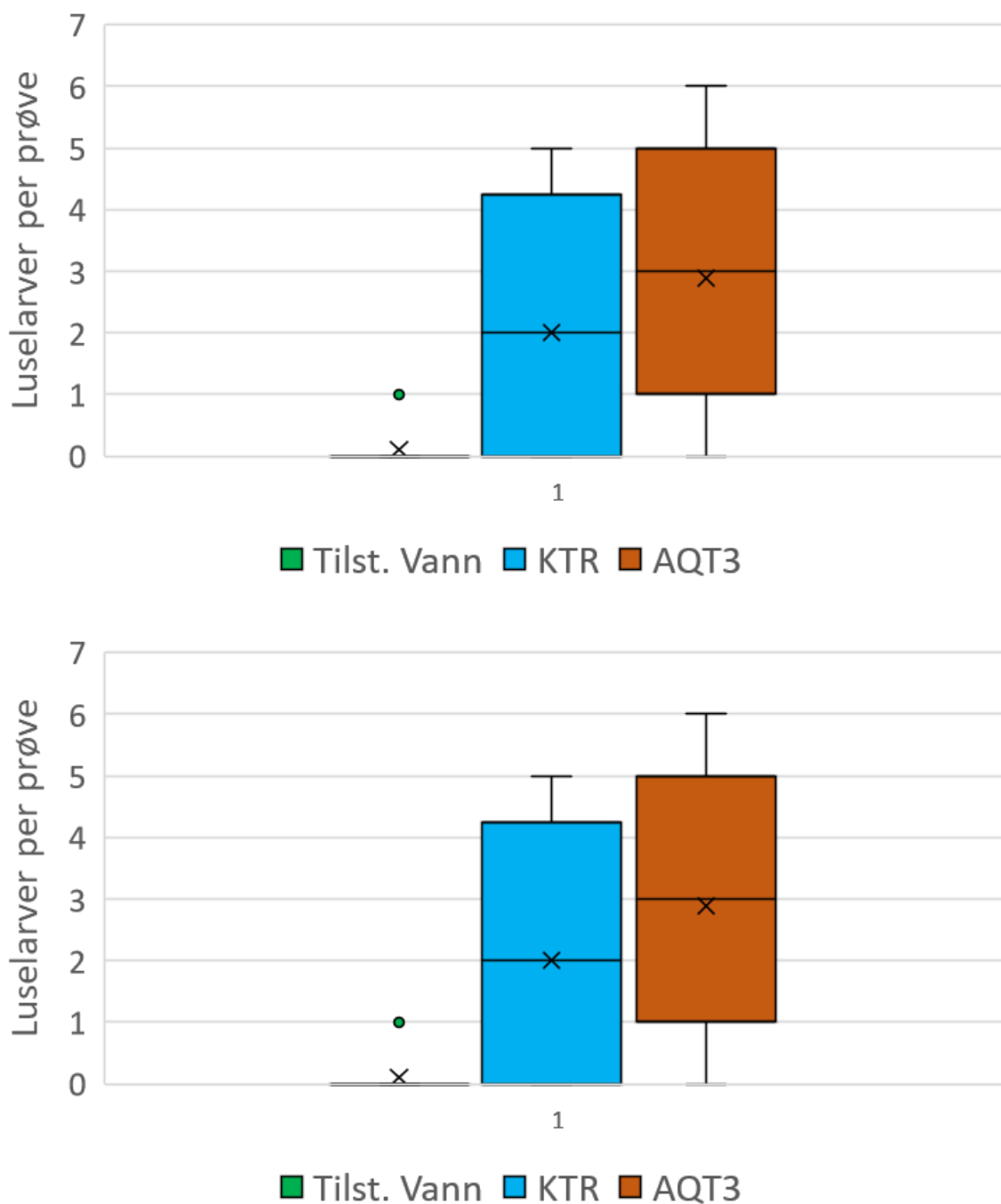
Dato	Tilst. vann	KTR	AQT3
21.11.2019	0	1 N, 1 pread.	3 N
18.12.2019	1 skinn pread.	1 N, 1 cop.	1 N, 1 skinn chalim.
14.01.2020	0	0	1 N
12.02.2020	0	0	6 N
19.03.2020	0	5 N	5 N
15.04.2020	0	5 N	2 N
12.05.2020	1 N	2 N	3 N
16.06.2020	0	?	5 N
08.07.2020	0	0	0

De samme data er vist grafisk i figur 9.14. Det ble nesten ikke ble funnet lus i tilst. vann, noe som kan tyde på at de observerte larvene er produsert i merdene. Medianverdiene for KTR og Aquatraz-merden lå på hhv. 2 og 3 larver per prøve (figur 9.15). Det synes ikke å ha vært noen betydelig forskjell i larvetetthet mellom de to merdene.

Håvtrekkene har filtrert et volum på maksimalt 20 m³ (dersom tre trekk fra 15 m dyp, og ingen klogging av maskene). Median larvetetthet i Aquatraz-merden (3 pr 20 m³) tilsvarer totalt 7 800 larver i hele Aquatraz-merden på 52 000 m³, og den høyeste målingen på 6 larver tilsvarer 15 600 larver i Aquatraz-merden. I KTR merden var median larvtetthet 2 per 20 m³ dette tilsvarer totalt 3 923 larver i hele KTR merden (volum 39 226 m³), og den høyeste målingen på 5 larver tilsvarer 9 807 larver i KTR.



Figur 9.14: Antall levende larver av lakselus per prøve på tre stasjoner. I prøvene fra 8. juli 2020 forekom ingen luselarver.



Figur 9.15: Boksplott for antall luselarver på tre stasjoner. Boksene omslutter intervallet 25% - 75% av målingene, medianverdier er vist med horisontal strek, aritmetisk middelværdi som et kryss. For tilst. vann var alle verdier 0 bortsett fra en måling med en enkelt larve, og boksen kan ikke vises.

Dyreplankton

En rekke arter av hoppekreps forekom i prøvene, inklusive nauplius-larver av disse. Dominerende arter var *Calanus* cf. *finmarchicus*, *Pseudocalanus* spp., *Acartia* spp. og to arter av slekten *Oithona*. Disse lever hele livet som plankton (kalt holoplankton). Vannlopper av slekten *Evadne* og *Podon* forekom fra mai og senere, men i langt mindre andel enn tidligere påvist i Eiterfjorden under biologiprogram 1. I tillegg til disse forekom en lang rekke med larvestadier av dyr som ellers lever på

bunnen (kalt meroplankton). Dette gjelder f.eks. larvestadier av krabber, reker, pungreker, børstemark, slangestjerner, sekkedyr og flere. Egg og yngel av fisk ble også funnet, de siste ganske sporadisk.

I prøvene fra juni-juli 2020 forekom en del små maneter (hydromeduser). I prøvene fra november 2019 - januar 2020 forekom en del fragmenter fra siphonophorer. Begge disse typene er nesledyr med nesleceller, og ved høye tettheter har slike ført til ganske omfattende skader og mortalitet hos oppdrettsfisk. I tillegg til disse ble det også påvist athorybia-larver i januar 2020. Disse er tidlige stadier av en agalmid siphonophor.

Det har ikke vært mulig å telle de ulike artene i planktonprøvene innenfor prosjektrammen, men prøvene er konserverte for at dette skal være mulig dersom det blir behov for det.

9.3.2. Mikroalger

For sammenligning av mikroalgesamfunnet mellom tilst. vann, AQT3 og KTR er prøver tatt hver måned fra 7 og 20 m dyp i tilst. vann, 7m dyp i AQT3 og 7m i KTR. Prøvetakingsplanen ble fulgt med mindre unntak; det ble tatt 2 prøveuttak i juli 2020, den 8. og 29. Den 8. juli ble det ikke tatt prøve på 20 m dyp i tilst. vann og den 29. juli og i august 2020 ble det ikke tatt prøver i KTR da denne allerede var tømt og utslaktet.

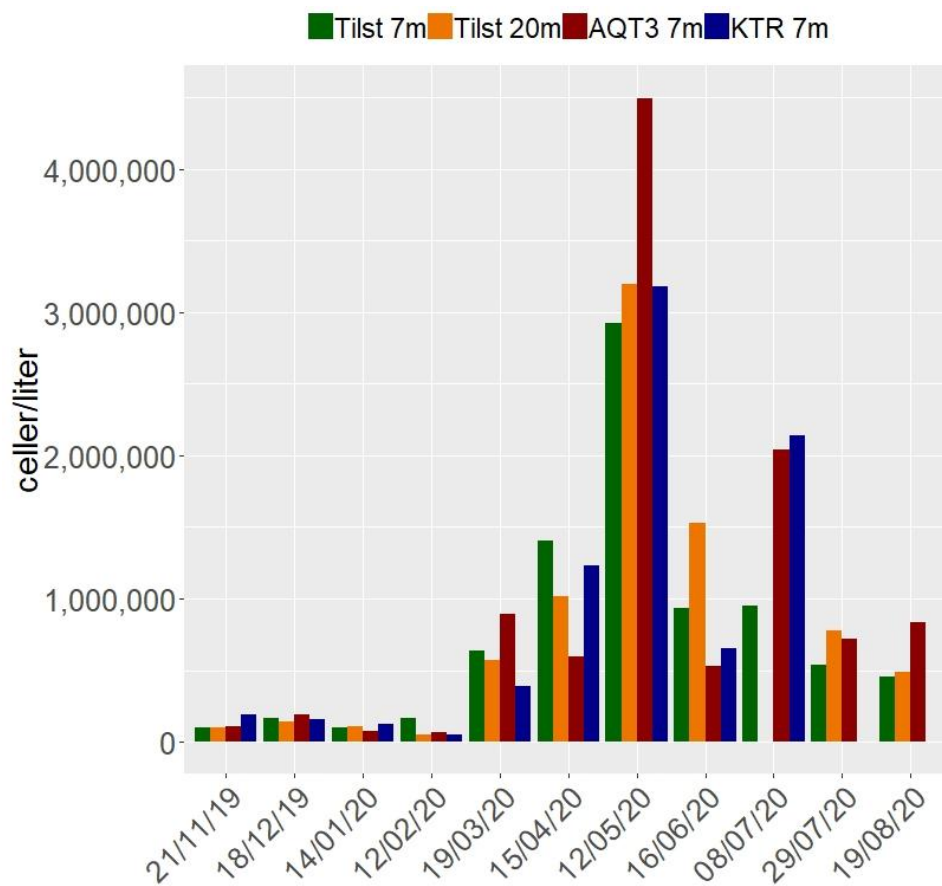
Resultatene viser at det ikke var systematiske forskjeller i algemengde eller artssammensetning mellom de ulike prøvetakingspunktene, og at mikroalgesamfunnet fulgte den normale årlige arts- og gruppesammensetningen for norske kystområder.

Celletallene var svært lave fra november 2019 til februar 2020 (figur 9.16) og var i denne perioden dominert av flagellater (figur 9.17). Fra mars 2020 til august 2020 var antall celler høyere, og de høyeste celletallene ble registrert i mai 2020 (figur 9.16). I mai 2020 var algesamfunnet dominert av kiselalger (figur 9.17), noe som er vanlig å observere under våroppblomstringen. I mars, april og fra juni til august 2020 var algesamfunnet hovedsakelig dominert av flagellater (figur 9.17).

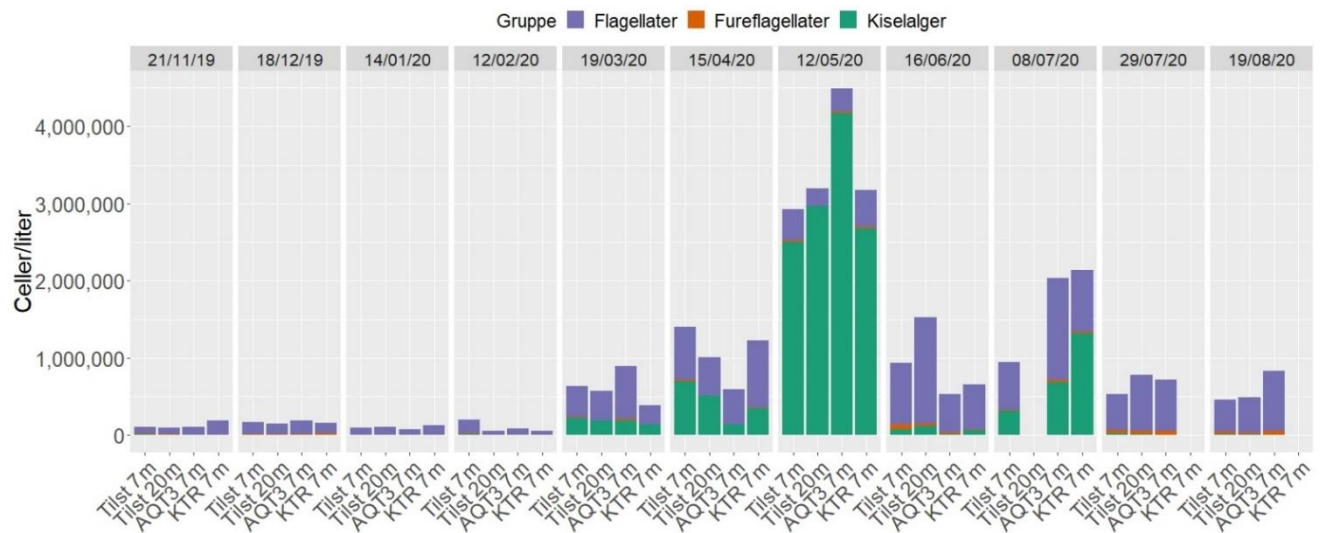
Det var svært lave konsentrasjoner av giftige og skadelige alger i hele perioden, og resultatene var sammenlignbare mellom de fire prøvetakingspunktene på hvert uttak. Unntaket var mai 2020 da antallet celler av *Skeletonema* spp. var høyt, spesielt i prøven fra AQT3 (4 million celler/L). Det kan ikke fullstendig utelukkes at 4 millioner celler/L av *Skeletonema* kan gi skader på fiskegjellene, spesielt hvis fisken samtidig utsettes for andre stressfaktorer (f.eks. avlusing). Imidlertid indikerer

lave gjellscore den 19.05.2020 (se 6.2.2) at denne konsentrasjon av Skeletonema ikke har forårsaket akutte gjelleskader.

Samlet sett så kan det tenkes at den åpne beliggenheten til lokaliteten Kyrøyene medfører god omrøring av vannmassene og dermed liten grad av stratifisering, som kan forklare at artssammensetningen i det tilst. vannet fra 20 m var relativt likt de andre punktene.



Figur 9.16: Totalt antall celler (celler/liter) i prøvene fra stasjonene: tilst. vann 7 m (grønn), tilst. vann 20 m (oransje), AQT3 7 m (AQT3, rød) og KTR 7 m (KTR, blå) i perioden fra november 2019 til august 2020.



Figur 9.17: Totalt antall celler (celler/liter) av hovedgruppene (Flagellater i blått, fureflagellater i oransje og kiselalger i grønt) i tilst. vann 7 m og 20 m (Tilst), samt AQT3 7 m (AQT3) og KTR 7 m (KTR) fra november 2019 til august 2020.

9.4. Konklusjoner vannmiljø

Samlet sett er dataene fra CTDO i samsvar med de fastmonterte sensorene. Fastmonterte sensorer gir en god oppløsning over tid, mens CTDO-data gir en bedre oppløsning med dybde og bedre innblikk i den totale hydrografien på lokaliteten. Samlet sett viser disse dataene at det har vært en systematisk høyere O_2 -metning i KTR sammenlignet med AQT3, men det skal huskes at AQT3 gjennomgående har hatt en høyere biomasse og høyere tetthet. Likevel har man med et fåtall unntak klart å opprettholde et godt oksygenmiljø for fisken i AQT3 med en gjennomsnittlig oksygenmetning på over 85% fra november 2019 til august 2020. I AQT3 kan perioder med lav og varierende O_2 -metning om sensommeren ha påvirket appetitt og tilvekst. Det har vært en gjennomgående mer stabil temperatur og salinitet i AQT3 sammenlignet med KTR og tilst. vann (5 m), og saliniteten har vært høyere i AQT3. Dette indikerer at vannet som kommer inn i AQT3 kommer fra større dyp. De vannkjemiske analysene viser svært lave nivåer av metabolittene CO_2 og NH_3-N i perioden med økt tetthet i AQT3. I tillegg er det ikke noen indikasjoner på en økt partikkelbelastning i AQT3. Totalt sett viser resultatene at den passive og aktive vannutskiftningen er tilstrekkelig til å opprettholde en god og stabil vannkvalitet i AQT3.

Dyreplanktonprøver ble tatt med håvtrekk fra 15 m dyp i tilst. vann, AQT3 og KTR. Primært fokus har vært på frittlevende larvestadier av lakselus. Det ble stort sett funnet naupliuslarver av lakselus eller skottelus, i kun én av prøvene var pigmenteringen fortsatt synlig og dermed bekreftet som lakselus. Totalt sett er det funnet relativt få lus på alle prøvetakingsstasjoner, og det er ingen signifikant forskjell mellom KTR og AQT3. Det ble nesten ikke funnet lus i tilst. vann, noe som kan tyde på at de observerte larvene er produsert i merdene.

Mikroalgesamfunnet på lokaliteten Kyrøyene fulgte den normale årlige arts- og gruppesammensetningen for norske kystområder. Konsentrasjonen av alger var lav og artssammensetningen lik mellom stasjonene (tilst. vann 7m, tilst. vann. 20m, AQT3 og KTR) i november til februar. Algekonsentrasjonen var høyere på alle stasjoner i mars til august, men ellers ble det ikke funnet noen konkrete mønstre. Konsentrasjonen av arter som kan være skadelig eller giftige for fisk var svært lav i hele prøvetaksperioden. Unntaket var i mai 2020 da antall celler av *Skeletonema* spp. var høyt, spesielt i prøven fra AQT3. *Skeletonema* er svært vanlig på våren, men

det kan ikke fullstendig utelukkes at konsentrasjonen kan skade gjellene, hvis fisken samtidig utsettes for andre stressfaktorer (f.eks. avlusing).

10. Produktkvalitet

Av: Thomas Larsson, Arnaud Lefrancois, Nofima.

10.1. Bakgrunn og formål

For å avdekke effekten av strømsetting i Aquatraz på produktkvalitet, ble laks fra en konvensjonell nabomerd (merdnummer 5, Kontroll) og fra Aquatraz 3 (merdnummer 3) sendt til Nofima, Ås for kvalitetsvurdering. Startuttak ble gjort like etter overføring av fisk til Aquatraz (6. november 2019; da prøvefisken veide 2,1 kg i snitt). Deretter ble det utført uttak ca. hver 2. måned. Denne rapporten omhandler uttak utført i november 2019, januar, mars, mai og juli 2020 (rett før slakt).

10.2. Materiale og metode

For alle uttak ble 10 sløyd og individmerket fisk, med tilhørende innvollspakke, per merdtype KTR og AQT3, sendt på is til Nofima. Ved ankomst til Nofima dagen etter slakt ble kjønn registrert og det ble tatt vekt og lengde av fisk, og vekt av innvollspakke. Slakteutbytte og kondisjonsfaktor (KF) ble beregnet. Det ble så tatt en generell vurdering av velferden til fisken (e.g. katarakt, skader på ryggfinne). Mengde innvollsfett og fett på hjerte og lever ble bedømt ved bruk av standardisert skala. Det samme ble gjort for farge på lever. Hjerte og lever ble veid, og indeks for disse ble beregnet (% av rund kroppsvekt).

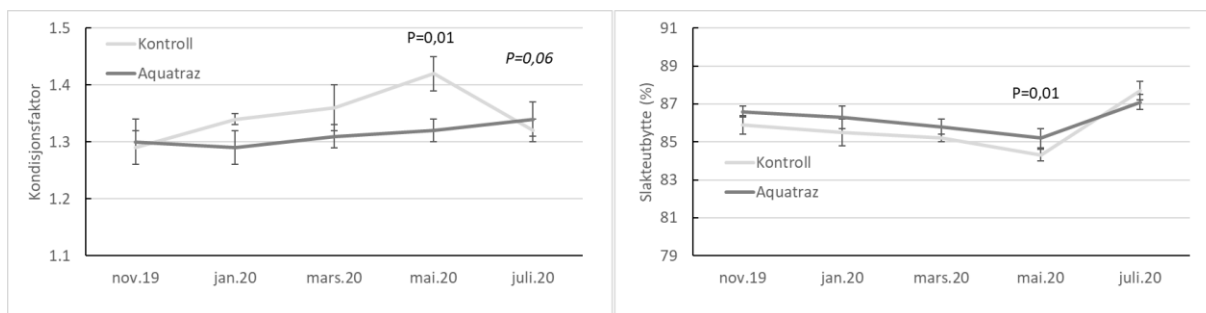
Fisken ble så filetert for hånd, og filetutbytte av både rund- og sløydvekt ble beregnet. Begge fileter ble vurdert for mørke flekker ved bruk av FHF-skalaen (Mørkøre 2012). Fra venstre filet ble det tatt prøve av dorsal muskel til histologi (HE-farging), og norsk kvalitetssnitt (NKS) ble tatt til kjemiske analyser. Høyre filet ble lagret på is til dag 7 post mortem, da visuell farge (PhotoFish; Folkestad et al., 2008), filetspalting (Andersen et al. 1994) og fasthet i muskel (instrumentelt, Mørkøre & Einen 2003) ble målt. Fasthet ble målt på to plasser: i dorsal del av NKS og av posisjon i forkant av ryggfinnen. Fettinnhold (%) i NKS ble målt ved "The one-shot method" utviklet av Anvendt Teknologi AS (Harstad Sørland et al. (2004)).

10.3. Resultater

Resultater fra alle uttak er oppsummert i tabell 10.1. PD-situasjonen på lokaliteten kan ha innvirkning på resultatene, spesielt med tanke på at fisken i AQT3 begynte å vise kliniske symptomer på PD-diagnosen senere enn fisken i KTR.

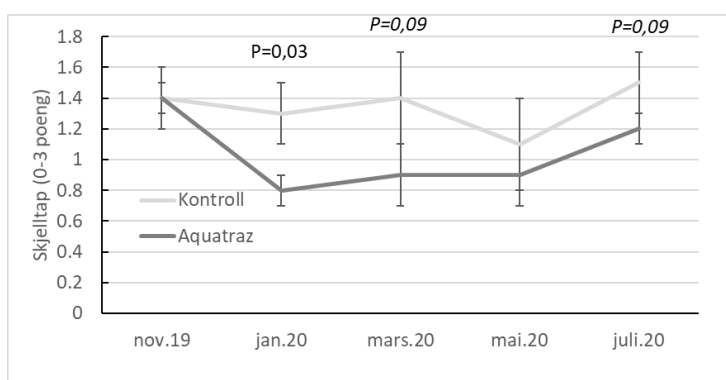
Ved uttak i januar og mai 2020 ble det tatt ut fisk av noe forskjellig størrelse fra de to merdtypene; dette ble korrigert for i statistikken for de kvalitetsparametere hvor størrelse hadde signifikant effekt.

Fisken fra kontrollgruppen hadde i mai 2020 høyere kondisjonsfaktor og lavere slakteutbytte enn fisken fra Aquatrazmerden. Ved sluttuttaket var denne forskjellen borte, og det var da en tendens til at Aquatraz-fisken hadde høyere kondisjonsfaktor (figur 10.1). I mai 2020 sammenfalte høyere kondisjonsfaktor hos kontrollgruppen med økt filetutbytte (av sløydvekt), men det var ellers ingen tydelige forskjeller mellom gruppene med hensyn til filetutbytte.



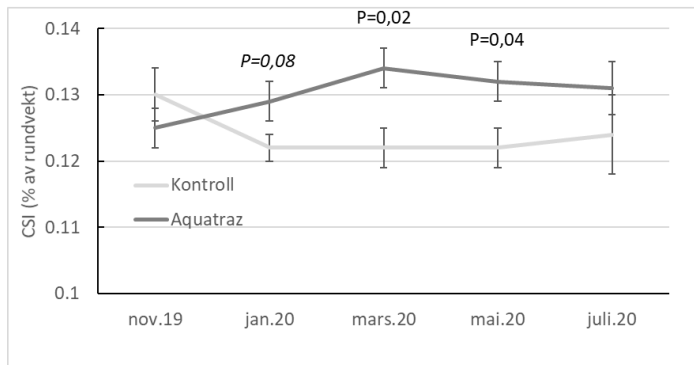
Figur 10.1: Kondisjonsfaktor og slakteutbytte av fisken sendt til kvalitetsanalyse for de fem uttakene i programmet

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. Totalt sett hadde 14% av den undersøkte fisken fra begge merdtyper tydelige flekker i fileten, uten signifikante forskjeller mellom gruppene. Fisken fra AQT3 tenderte å ha mindre skjelltap enn de fra KTR, og forskjellen var signifikant i januar 2020 (figur 10.2). Forskjellen mellom merdtypene kan henge sammen med færre mekaniske behandlinger (avlusing) av fisken i Aquatraz-merden.



Figur 10.2: Skjelltap (skala 0 til 3; 0=ingen skjelltap, 3=betydelig skjelltap) vurdert på fisken sendt til kvalitetsanalyse for de fem uttakene i programmet.

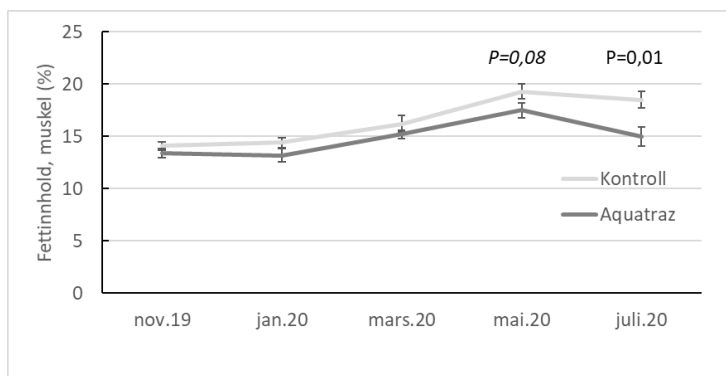
Relativ størrelse av lever (HSI) var lik for begge grupper for alle uttak, mens Aquatraz-fisken hadde signifikant høyere relativ hjertestørrelse (CSI) i mars og mai (figur 10.3). Signifikant høyere relativ hjertestørrelse ble ikke funnet i materialet som er beskrevet i kapittel 6, men som kommentert i avsnitt 6.2.1 så er det grunn til å anta at data i kapittel 10 har hatt bedre kvalitet. Dette betyr at disse tillegges størst vekt og at man kan gå ut fra at Aquatrazfisken har hatt høyere CSI enn fisken i kontrollmerden.



Figur 10.3: Relativ hjertestørrelse (CSI, % g av rundvekt) på fisken sendt til kvalitetsanalyse for de fem uttakene i programmet.

Filetfargen og predikert nivå av astaxanthin var generelt god gjennom hele perioden (25,3 SalmoFan og 5,6 mg/kg i gjennomsnitt, henholdsvis), uten signifikante forskjeller mellom gruppene.

Fettinnholdet i muskelen var lignende for de to gruppene til og med mars, men deretter var det en tydelig trend mot lavere fettinnhold i fisken fra Aquatraz-merden, som til slutt hadde i gjennomsnitt 3,5 %-poeng lavere fettinnhold enn kontroll-fisken (figur 10.4). Sett sammen med trendene i kondisjonsfaktor og slakteutbytte kan det tenkes at fisken i Aquatraz-merden i større grad har benyttet seg av fett som energikilde enn kontroll-fisken. Om dette kan være en effekt av f.eks. sykdomsbilde og/eller strømsetting i Aquatraz-merden er vanskelig å si.



Figur 10.4: Fettinnhold i muskel av de 10 laks per merdtype sendt til kvalitetsanalyse for de fem uttakene i programmet.

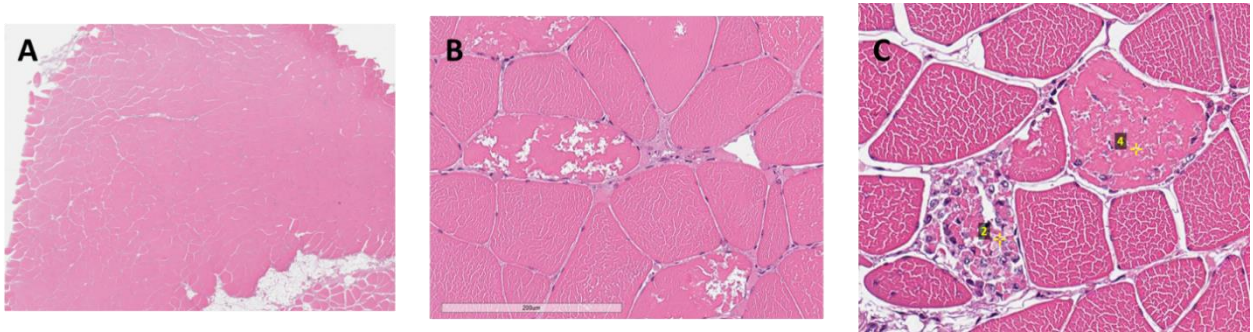
Fastheten i fileten var generelt god, uten signifikante forskjeller mellom gruppene. Kun én fisk hadde en bruddstyrke som indikerer bløt muskel (< 7 N, Mørkøre (2008)), og dette var ved startuttak i november 2019. Filetspalting var lav, og ingen fisk hadde score som anses som problematisk.

Tabell 10.1: Oppsummering av resultater fra kvalitetsvurdering av 10 laks per merdtype Kontroll (KTR) og Aquatraz (AQT) for uttakene utført i Biologiprogram for AG2. P-verdier er vist når $p < 0,1$, og resultater ansees signifikant når $p < 0,05$. ns = ikke signifikant.

	November 2019			Januar 2020			Mars 2020			Mai 2020			Juli 2020			P-verdi totalt
	KTR	AQT	p-verdi	KTR	AQT	p-verdi	KTR	AQT	p-verdi	KTR	AQT	p-verdi	KTR	AQT	p-verdi	
Rundvekt (kg)	2.2 ± 0.1	2 ± 0.1	ns	3.2 ± 0.2	2.7 ± 0.2	0.068	3.5 ± 0.1	3.6 ± 0.1	ns	4.6 ± 0.1	4.1 ± 0.2	0.036	5.2 ± 0.3	5.2 ± 0.1	ns	ns
Sløydvekt (kg)	1.9 ± 0.1	1.8 ± 0.1	ns	2.7 ± 0.2	2.3 ± 0.2	0.064	3 ± 0.1	3 ± 0.1	ns	3.9 ± 0.1	3.5 ± 0.1	0.078	4.5 ± 0.3	4.5 ± 0.1	ns	ns
Lengde (cm)	55.8±0.7	53.8±0.9	ns	61.8±1	58.9±1.1	0.073	63.9±1	64.7±0.6	ns	68.8±0.6	68±1	ns	72.9±1.4	72.8±0.5	ns	ns
Kondisjonsfaktor (rundvekt)	1.29±0.03	1.3±0.04	ns	1.34±0.01	1.29±0.03	ns*	1.36±0.04	1.31±0.02	ns	1.42±0.03	1.32±0.02	0.014	1.32±0.02	1.34±0.03	0.056*	ns
Slakteutbytte (%)	85.9±0.5	86.6±0.3	ns	85.5±0.7	86.3±0.6	ns*	85.2±0.2	85.8±0.4	ns	84.3±0.3	85.2±0.5	0.007*	87.7±0.5	87.1±0.4	ns*	ns
Katarakt, sum (skala 0-4 poeng)	0.2±0.1	0±0	ns	0.1±0.1	0±0	ns	0.1±0.1	0.2±0.1	ns	0.2±0.2	0.1±0.1	ns	0.5±0.2	0.9±0.4	ns	ns
Ryggfinne (0-4 poeng)	1.2±0.1	1.1±0.1	ns	1.1±0.2	1.2±0.2	ns	1.2±0.1	1.1±0.2	ns	1.7±0.3	1.4±0.2	ns	1.3±0.2	1.2±0.2	ns	ns
Skjelltap (0-3 poeng)	1.4±0.2	1.4±0.1	ns	1.3±0.2	0.8±0.1	0.034	1.4±0.3	0.9±0.2	0.085	1.1±0.3	0.9±0.2	ns	1.5±0.2	1.2±0.1	0.091	0.013
Synlig fett på hjerte (0-2 poeng)	0.8±0.2	1±0.2	ns	0.3±0.2	0.5±0.2	ns	1.1±0.2	1.1±0.2	ns	1.2±0.2	1±0.2	ns				ns
Synlig fett på innvoller (0-5 poeng)	2.55±0.24	2.65±0.18	ns	2.8±0.28	2.65±0.27	ns	2.4±0.16	2.05±0.12	0.061	2.2±0.13	2.5±0.11	0.048	3.55±0.16	3.25±0.26	ns	ns
Leverfarge (0-5 poeng)	2.9±0.1	3.2±0.1	0.056	3.3±0.2	3.1±0.1	ns	3.2±0.1	3.4±0.1	ns	3.3±0.2	3.3±0.2	ns	2.9±0.2	3.1±0.2	ns	ns
Levervekt (% av rundvekt, HSI)	1.27±0.04	1.31±0.05	ns	1.31±0.03	1.33±0.05	ns	1.41±0.03	1.37±0.04	ns	1.35±0.04	1.39±0.09	ns	0.93±0.08	1.11±0.07	ns	ns
Hjertevekt (% av rundvekt, CSI)	0.13±0	0.13±0	ns	0.12±0	0.13±0	0.077	0.12±0	0.13±0	0.02	0.12±0	0.13±0	0.035	0.12±0.01	0.13±0	ns	0.01
Filetutbytte (% av rundvekt)	65.6±0.5	66.6±0.3	0.096	66.1±0.7	65.8±0.5	ns	66.4±0.5	67.2±0.5	ns	66.5±0.3	65.7±0.5	ns	62.9±0.9	61.7±1	ns	ns
Filetutbytte (% av sløydvekt)	76.3±0.2	76.9±0.4	ns	77.3±0.4	76.2±0.5	ns	78±0.6	78.4±0.4	ns	78.9±0.2	77.1±0.6	0.011	71.7±0.8	70.8±0.9	ns	ns
Gaping (poeng)	0.1±0.1	0±0	ns	0±0	0±0	ns	0.1±0.1	0.2±0.1	ns	0±0	0.1±0.1	ns	0.5±0.2	0.3±0.2	ns	ns
Mørke flekker i filet, forekomst	0.5±0.2	0.8±0.1	ns	0.5±0.2	0.4±0.2	ns	0.4±0.2	0.5±0.2	ns	0.7±0.2	0.4±0.2	ns	0.1±0.1	0.3±0.2	ns	ns
Mørke flekker i filet (poeng)	0.3±0.3	0.2±0.2	ns	0.6±0.4	0.8±0.5	ns	0±0	0±0	ns	0.9±0.5	0.5±0.3	ns	0±0	0.8±0.4	ns	ns
Filetfarge (SalmoFan Photofish)	25.5±0.2	25.5±0.2	ns	25.6±0.3	25.6±0.3	ns*	24.7±0.2	25±0.2	ns	25.4±0.4	25.8±0.3	ns	25.2±0.3	24.3±0.4	0.091	ns
Astaxanthin i NKS (Photofish, mg/kg, 10 fisk)	5.8±0.1	5.8±0.2	ns	5.8±0.2	5.8±0.2	ns*	5.2±0.1	5.4±0.1	ns	5.7±0.3	6±0.2	ns	5.6±0.3	4.9±0.3	0.093	ns
Fett i NKS (% , NMR)	14.1±0.4	13.4±0.4	ns	14.4±0.5	13.2±0.6	ns*	16.2±0.8	15.2±0.4	ns*	19.3±0.7	17.5±0.7	0.081	18.5±0.8	15±0.9	0.012	0.004
Fasthet i filet (Newton)	8.4±0.3	7.7±0.3	0.062	9.4±0.4	9.5±0.3	ns	9.8±0.6	9.3±0.3	ns	10.9±0.5	10.5±0.5	ns	12.3±1	11.9±0.6	ns	ns
Fasthet i filet (totalt arbeid, N*s)	146±4	133±5	0.063	189±7	186±7	ns	198±8	191±7	ns	234±12	225±8	ns	294±21	273±13	ns	ns

* Korrigert for signifikant effekt av fiskestørrelse (rundvekt)

Histologisk undersøkelse (figur 10.5) besto av opptelling av muskelfibre som fremstår som degenererte. Det var store individuelle forskjeller, med funn som anses normale. Det var ingen signifikante forskjeller mellom gruppene for noen av uttakene ($P > 0,2$, data ikke vist). Ved overgangen fra mai til juli var det en tendens til at degenerasjon endret utseende, uten at dette kunne klassifiseres mere nøyaktig. Det er dog interessant å merke seg at dette sammenfaller med stor endring i fettdeponering i filet som vist tidligere. I Biologiprogram 1 av Aquatraz sammenfalte økte endringer i muskel med lavere fasthet i filet (tekstur), men dette var ikke tilfelle i gjeldende program.



Figur 10.5: Bilder fra snitt av muskel, HE-farging. A: celler uten funn, B: degenerasjon uten makrofager, C: degenerasjon, muligens med makrofager.

11. Helsekontroller

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

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 virussykdom 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 gi 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.

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.

12. Slaktedata

Av: Torolf Storsul, veterinær, Aqua Kompetanse AS.

12.1. Formål og bakgrunn

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.

Slaktedata var opprinnelig ikke tatt inn som en del av biologiprogrammet, men på grunn av betydelige forskjeller i kvalitetssortering i de to fiskegruppene som ble sammenlignet i dette programmet, ble det relevant å ta med en oppsummering av de viktigste funnene. Dette sammenholdes med resultater fra velferdsscoringer, for å se om man kunne se sammenhenger mellom observasjoner i felt og observasjoner på slakteriet.

12.2. Metode

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. Dette utføres av slakteriets eget personell og etter interne prosedyrer på slakteriet.

Velferdsscoring er utført etter Fishwellstandarden slik som beskrevet i kapittel 5. Ved sammenligning med slaktedata ble det sett på andeler av individer innen de ulike score-verdiene, slik at man kunne sammenholde andel individer med alvorlige anmerkninger i felt med andel fisk som var nedklasset for en liknende årsak ved slakt.

12.3. Resultat og diskusjon

Ved slaktingen av fisken fra Kyrøyene ble en betydelig andel fra AQT3 nedklasset fra superior til andre kvalitetsklasser, i hovedsak til produksjon A og produksjon B som vist i tabell 12.1.

Tabell 12.1: Oversikt over kvalitetssortering ved slakt for begge fiskegrupper. Alle andeler er % av antall fisk.

Fiskegruppe	Ant. fisk slaktet	Superior (%)	Produksjon A (%)	Produksjon B (%)	Gulvfisk (%)	Vrak (%)	Feilskjær (%)
AQT3	283 871	74,15	17,48	7,50	0,09	0,41	0,36
KTR	142 800	91,17	8,44	0,13	0,03	0,10	0,13

For begge fiskegruppene har det vært flere slaktedager. Det er et sammensatt bilde av nedklassingsårsaker på fisken fra AQT3, hvor både sår, kjønnsmodning og deformiteter inngår (tabell 12.2).

Begge 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 12.2: Oversikt over kvalitetssortering og årsaker til nedklassing på hundrefiskkontroller for begge fiskegrupper. Alle andeler er % av antall fisk.

Fiskegruppe	Ant. fisk kontrollert	Superior (%)	Produksjon (%)	Sår / skade (%)	Vintersår (%)	Kjønnsmodning (%)	Feilskjær (%)	Deformert (%)	Annet (%)
AQT3	1700	75,35	24,65	0	9,00	4,24	0,71	4,41	6,29
KTR	900	89,44	10,56	0	2,89	0,22	0,56	6,33	0,56

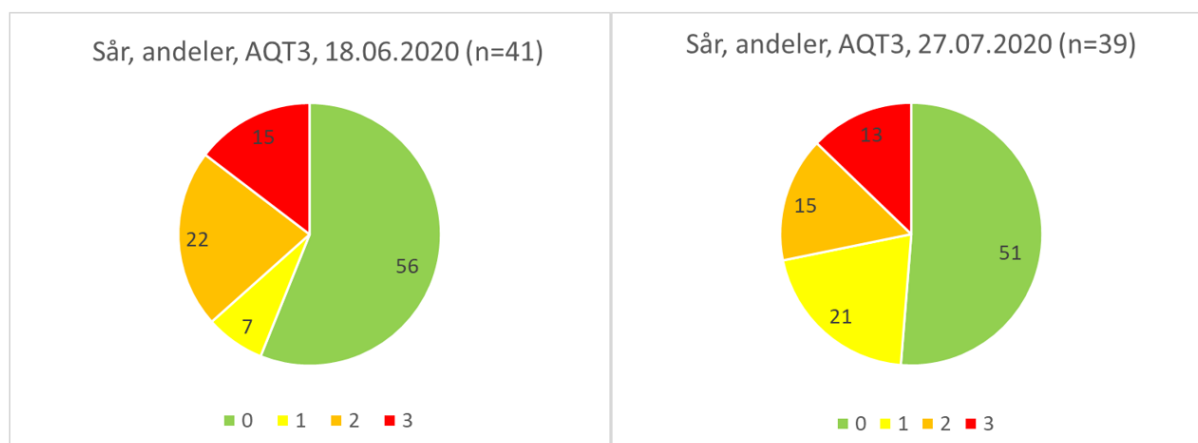
Fra AQT3 ble slaktingen gjort i to omganger. Her var det stor forskjell mellom resultatene fra hundrefiskkontrollene i juli og september (tabell 12.3), hvor sår var viktigste årsak til nedklassing i juli, mens kjønnsmodning var viktigste årsak i september. Det er flere mulige forklaringer til disse ulikhetene. 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.

Fra KTR ble også slaktingen delt i to runder. Her var deformiteter den klart viktigste årsaken til nedklassing, samt at sår også var grunn til nedklassing. Som beskrevet i teksten til figur 12.2 og 12.3 var det små forskjeller i årsaksfordelingen til nedklassing i denne fiskegruppen mellom første og andre runde slakt.

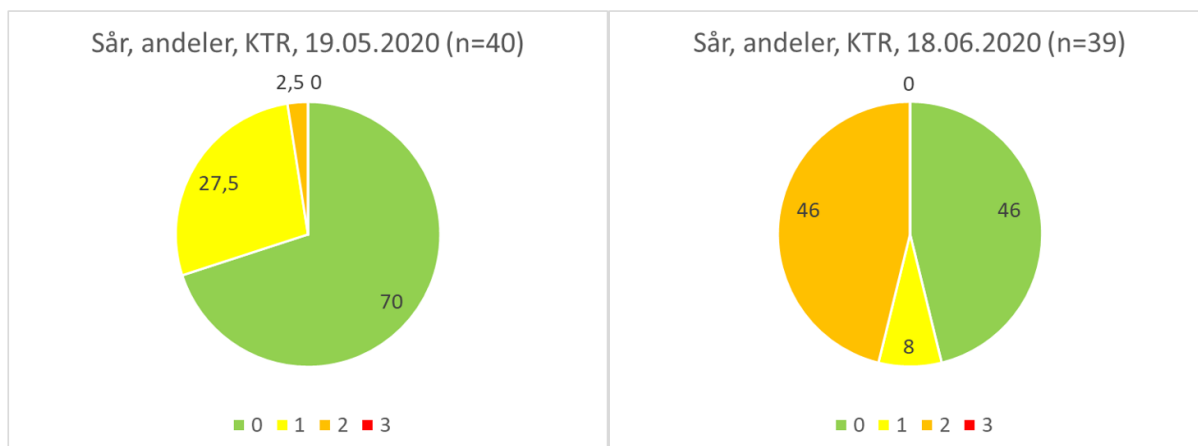
Tabell 12.3: Oversikt over kvalitetssortering og årsaker til nedklassing på hundrefiskkontroller for fisk fra AQT3, oppdelt i den delen av fiskegruppen som ble slaktet i juli og den delen av fiskegruppen som ble slaktet i september. Den fisken som er sortert i kategorien «Annet» i september er oppgitt å være tidlig kjønnsmodning. Alle andeler er % av antall fisk.

Fiskegruppe	Ant. fisk kontrollert	Superior (%)	Produksjon (%)	Sår/skade (%)	Vintersår (%)	Kjønnsmodning (%)	Feilskjær (%)	Deformert (%)	Annet (%)
AQT3 (slaktet i juli)	800	76,00	24,00	0	18,25	0	1,00	3,50	1,25
AQT3 (slaktet i september)	900	74,78	25,22	0	0,78	8,00	0,44	5,22	10,78

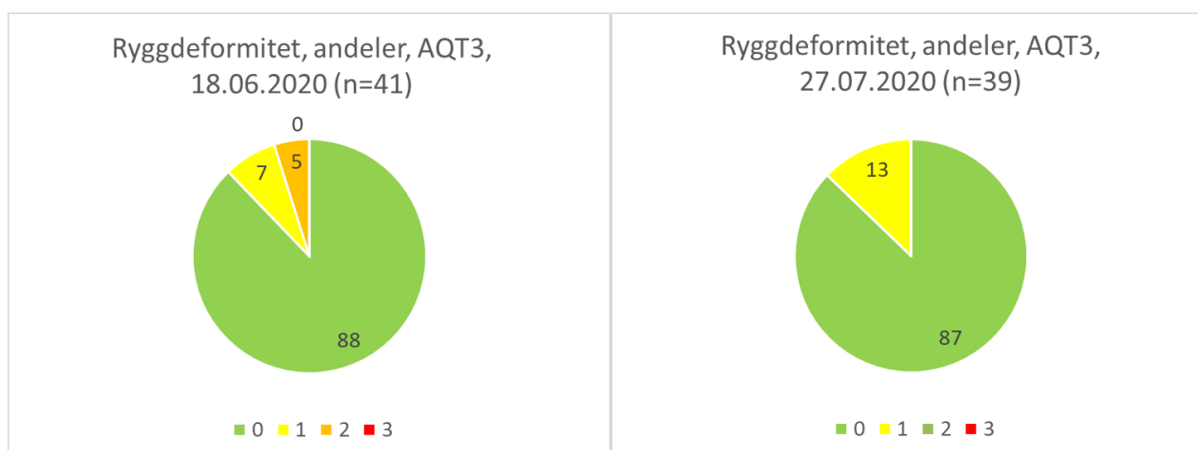
For å utfylle bildet fra hundrefiskkontrollene ble det sett nærmere på resultatene fra velferdsscoreingene som ble gjort nærmest slaktingene. I tillegg til gjennomsnittlig score som er vist i kapittel 5, er det sett på andeler av fisk innen de ulike score-verdiene (figur 12.1 til 12.4). Fokuset ble satt på indikatorene «sår» og «ryggdeformiteter», samt at anmerkninger til kjønnsmodningsstatus ved obduksjon ble gjennomgått.



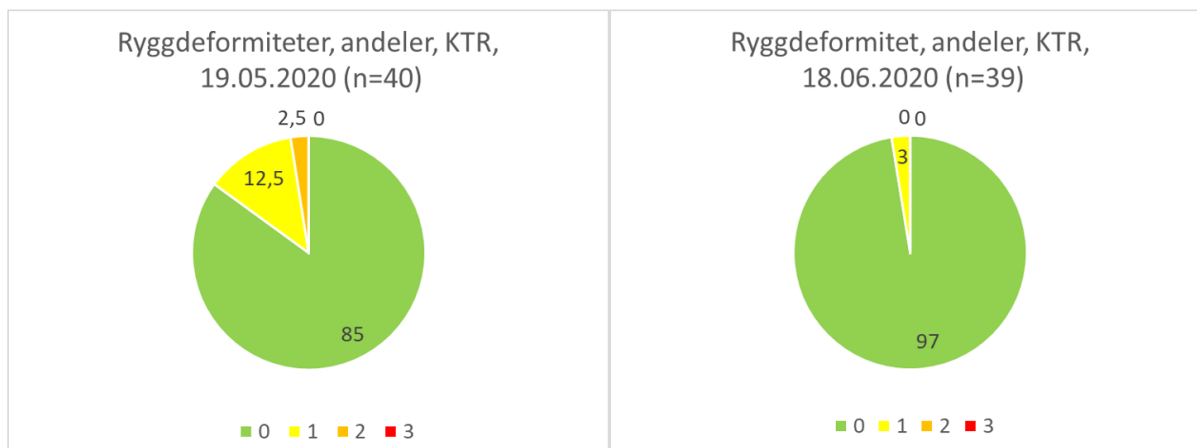
Figur 12.1: Andeler på de ulike score-verdiene for indikatoren «sår» ved siste velferdsscore før hhv første (til venstre) og siste (til høyre) slakting fra AQT3. Ved slakt fra AQT3 11.-14.07.2020 viste hundrefiskkontroller at ca.18% av fisken ble nedklasset med vintersår som årsak. Ved slakting fra AQT3 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 12.2: Andeler på de ulike score-verdiene for indikatoren «sår» ved siste velferdsscore før hhv første (til venstre) og siste (til høyre) slakting fra KTR. Ved slakt fra KTR 02.06.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 4% av fisken ble nedklasset med vintersår som årsak. Ved slakting fra KTR 22.-23.07.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 2% av fisken ble nedklasset med vintersår som årsak..



Figur 12.3: Andeler på de ulike score-verdiene for indikatoren «ryggdeformitet» ved siste velferdsscore før hhv første (til venstre) og siste (til høyre) slakting fra AQT3. Ved slakt fra AQT3 11.-14.07.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 4% av fisken ble nedklasset med deformert som årsak. Ved slakting fra AQT3 01.-03.09.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 5% av fisken ble nedklasset med deformert som årsak.



Figur 12.4: Andeler på de ulike score-verdiene for indikatoren «ryggdeformitet» ved siste velferdsscore før hhv første (til venstre) og siste (til høyre) slakting fra KTR. Ved slakt fra KTR 02.06.2020 viste hundrefiskkontroller at ca.5% av fisken ble nedklasset med deformert som årsak. Ved slakting fra KTR 22.-23.07.2020 viste hundrefiskkontroller at ca. 7% av fisken ble nedklasset med deformert som årsak.

Fishwell-standarden som brukes ved velferdsscore 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 velferdsscore på sjøen og det bildet som tegner seg fra hundrefiskkontroller og kvalitetssortering.

Kjønnsmodning ble ikke vurdert sammen med de andre velferdsindikatorer ved rutinemessig velferdsscore. På kontrollen som ble utført 18.06.2020 ble det imidlertid kommentert at 8 av 20 individer undersøkt samlet fra AQT3 og KTR var hannfisk med begynnende fylling i gonader, fra blyanttykkelse til ca. 2 cm diameter. Ved kontrollen som ble gjort på AQT3 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 for AQT3 for denne parameteren.

Som beskrevet til tetthetsrapporten (Dokument nr.: AQT-MNH-BIO-007) er det ikke mulig å konkludere om den økte prevalensen av sår i AQT3 er forårsaket av økt fisketetthet sammenliknet med de KTR, om det er forårsaket av ekstra håndtering eller av selve Aquatraz- teknologien. Det er ikke funnet studier som støtter at tetthetene som er registrert i AQT3 (maks. 26 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.

13. 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.
- Colquhoun, D., Garseth, Å. H., Gudding, R., Helgesen, K., Holst-Jensen, A., Lillehaug, A., Løkka, G., Mo, T. A., Qviller, L., Skaar, I., 2018: Smitte mellom oppdrettsfisk og villfisk: Kunnskapsstatus og risikovurdering. Rapport 12 – 2018, Veterinærinstituttet.
- Crosbie T, Wright DW, Oppedal F, Johnsen IA, Samsing F, Dempster T (2019) Effects of step salinity gradients on salmon lice larvae behaviour and dispersal. *Aquaculture Environment Interactions* 11: 181-190, 2019.
- Folkestad, A., et al., Rapid and non-invasive measurements of fat and pigment concentrations in live and slaughtered Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), *Aquaculture* (2008), doi:10.1016/j.aquaculture.2008.04.037
- Grenfell, B. T., O. N. Bjørnstad, and J. Kappey, 2001. "Travelling Waves and Spatial Hierarchies in Measles Epidemics." *Nature*.
- 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.
- Hjeltnes B, Bang Jensen B, Bornø G, Haukaas A, Walde C S (red), Fiskehelserapporten 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.
- 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>).
- Kryvi H, Poppe T, 2008 Fiskeanatomi. Fagbokforlaget.
- Mørkøre T, Einen, O, 2003. Relating sensory and instrumental texture analyses of Atlantic salmon. *Journal of Food Science* 68, 1492-1497.
- Mørkøre, T., 2008. Tekstur i oppdrettslaks. Kunnskapsstatus og forhold som bidrar til fastere filet. Nofima rapportserie (32/2008). In Norwegian.
- Mørkøre T (2012) Filet av oppdrettslaks: Kvalitetsavvik og årsakssammenhenger. FHF-prosjekt 900339. Report 17/2012, Nofima, Ås.

- Noble, C., Nilsson, J., Stien, L.H., Iversen, M., Kolarevic, J. & Gismervik, K. 2018. Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd. 312 pp
- 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.
- Sørland GH, Larsen PM, Lundby F, Rudi AP, Guiheneuf T. 2004. Determination of total fat and moisture content in meat using low field NMR. *Meat Sci.* 2004;66:543–50. pmid:22060863
- Ulvund, J. B., Kristensen, T., Urke, H. A. and Alfredsen. 2019. Optimized use of *Cyclopterus lumpus* in the fight against *Lepeophtheirus salmonis* in salmon farming - An acoustic telemetry approach to further the knowledge of fish biology and effective measurements of cleaner fish and Atlantic salmon in commercial salmon production. *In prep.* Aquaculture.
- 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
- Wood, S. 2020. Mixed GAM Computation Vehicle with Automatic Smoothness Estimation. R-pakke mgcv

14. Vedlegg

14.1. Velferdsscore/individkontroller

14.1.1. Velferdsscore/individkontroller AQT3

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

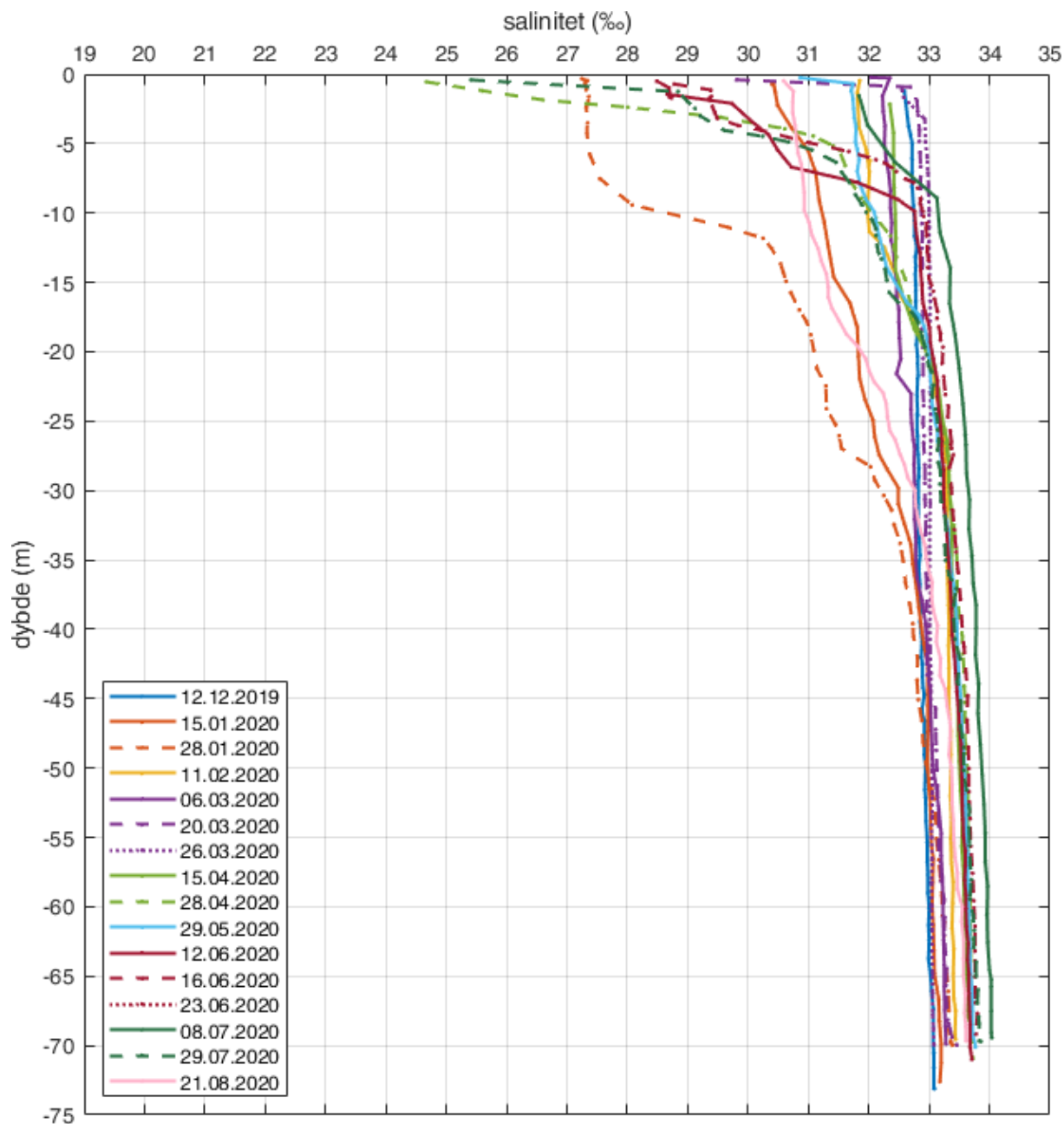
14.1.2. Velferdsscore/individkontroller KTR

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

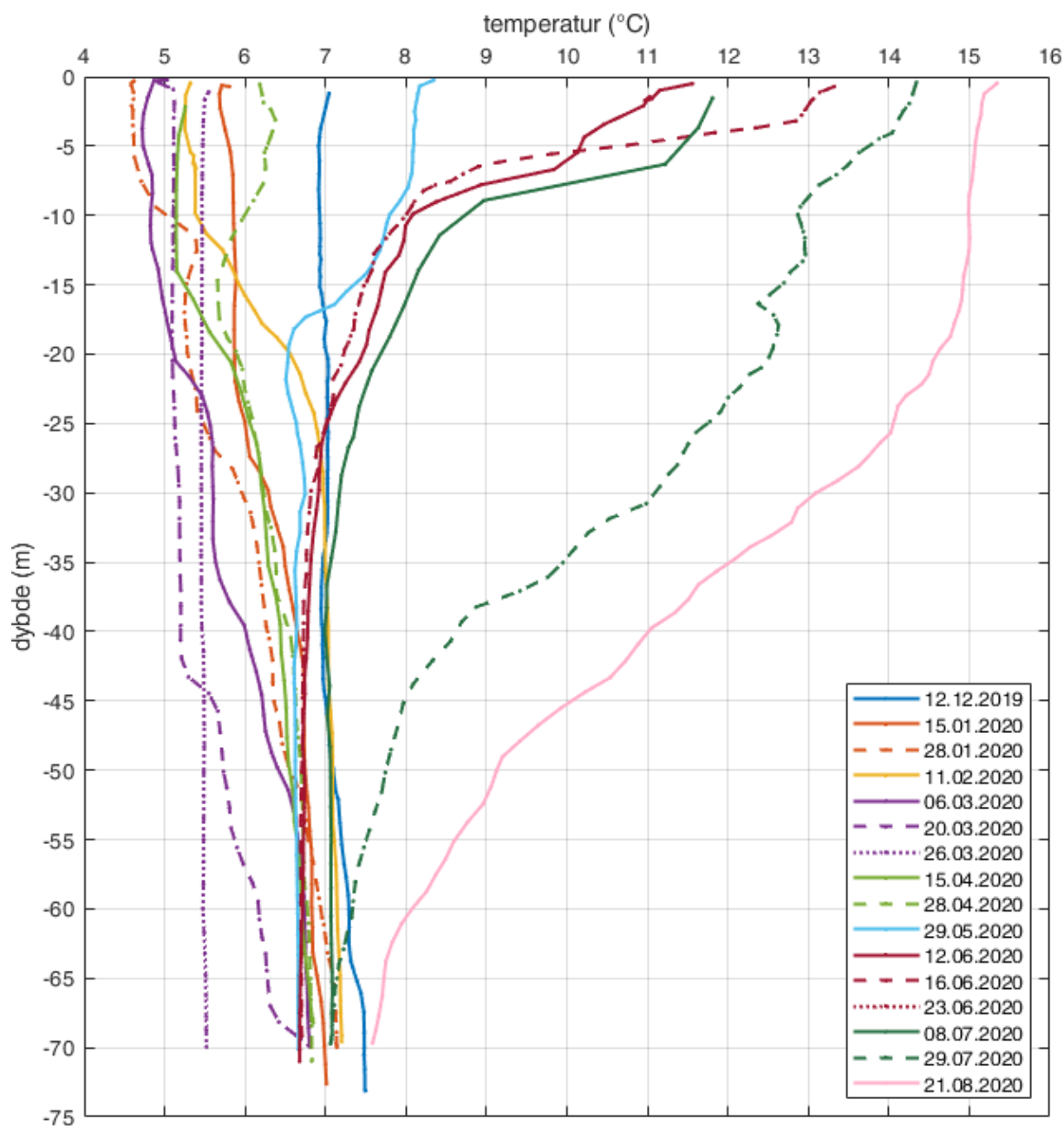
Parameter	06.11. 2019	17.12. 2019	29.01. 2020	19.02. 2020	21.04. 2020	19.05. 2020	18.06. 2020
Antall fisk	40	40	40	40	40	40	39
Gjennomsnittsvikt (g)	2193	2462	3224	3105	3832	4928	5247
Gjennomsnittslengde (cm)	54,5	57,1	61,9	61,6	65,2	68,9	70,7
Gjennomsnittlig k-faktor	1,35	1,28	1,35	1,31	1,36	1,49	1,45
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

14.2. CTDO-målinger

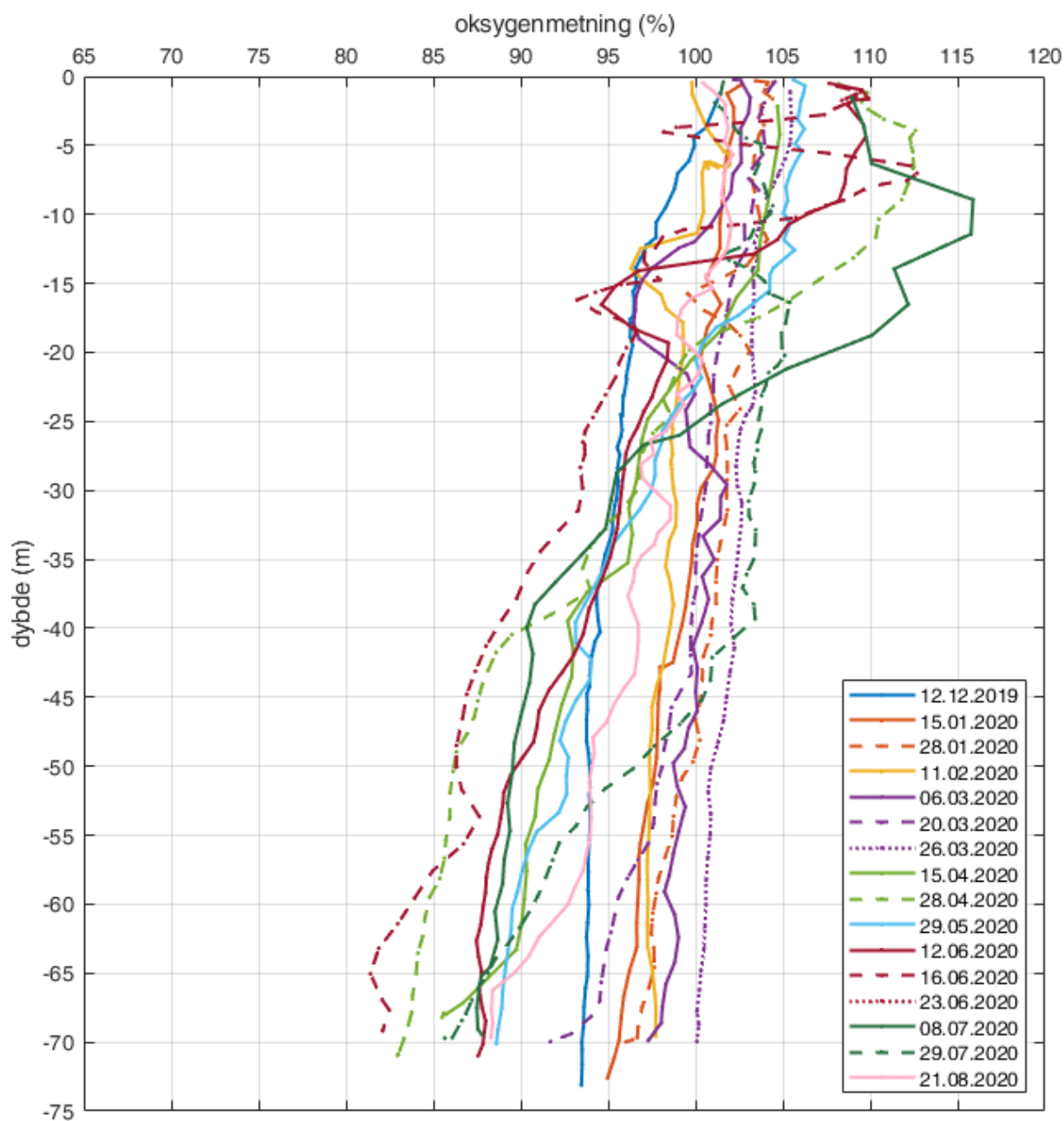
14.2.1. Stasjon H1 – tilstrømmende vann



Figur 14.1: Salinitet (‰) i stasjon H1 (merd 7, tilstrømmende vann) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni 2020. (Denne figuren er også presentert som figur 9.2, høyre.)

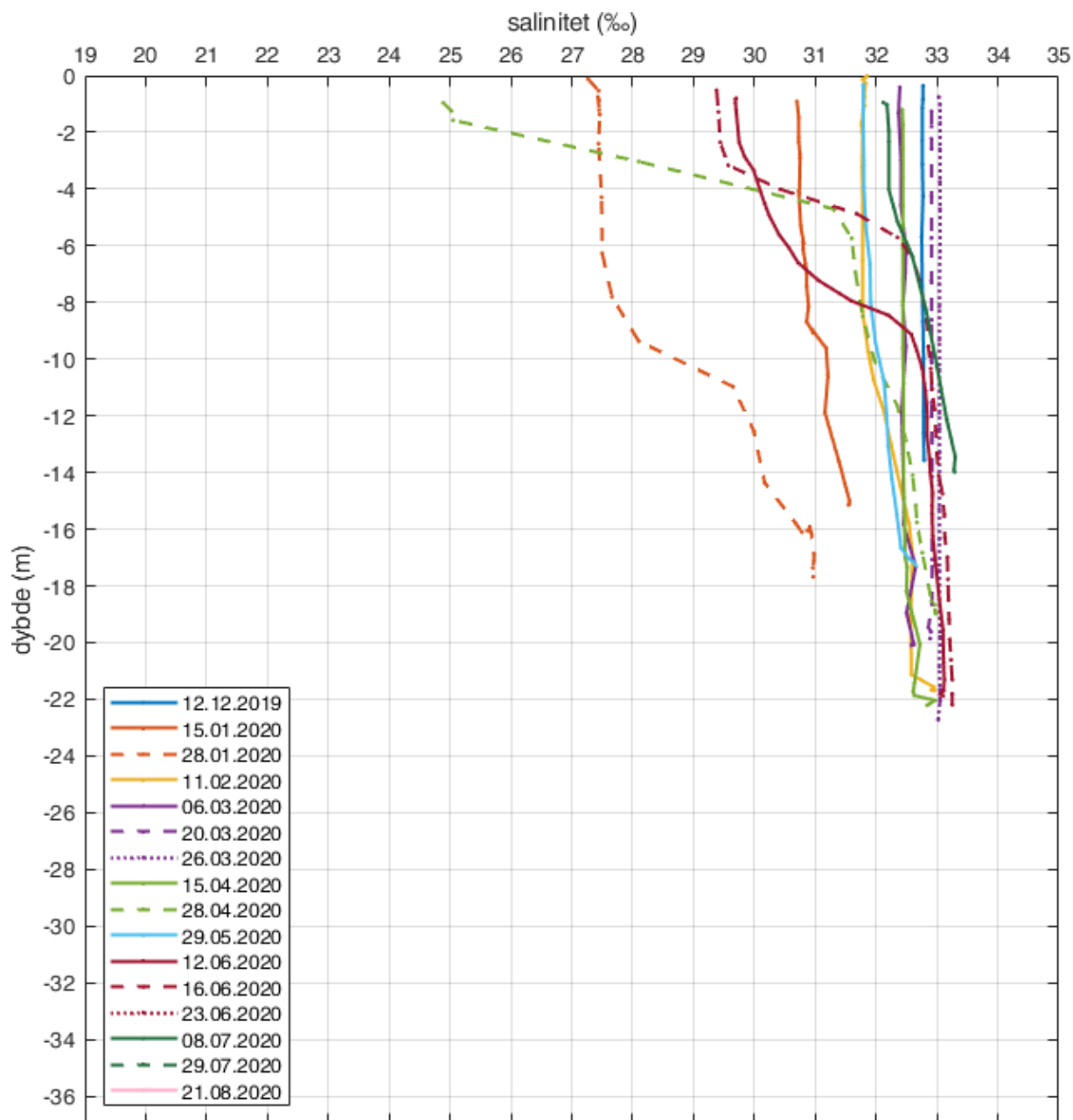


Figur 14.2: Temperatur (°C) i stasjon H1 (merd 7, tilstrømmende vann) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni 2020. (Denne figuren er også presentert som figur 9.2, venstre.)

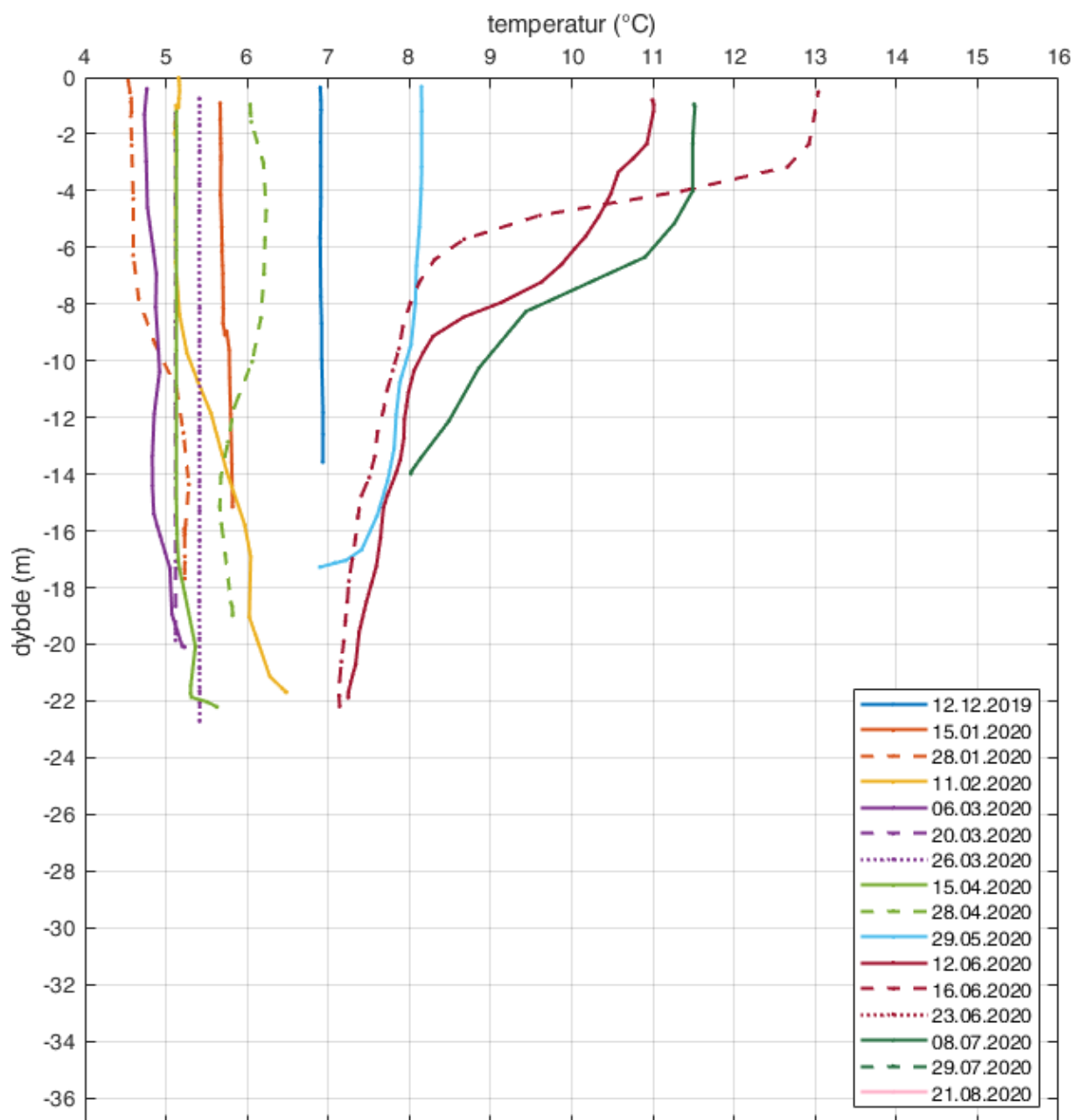


Figur 14.3: Oksygenmetning (%) i stasjon H1 (merd 7, tilstrømmende vann) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni 2020. (Denne figuren er også presentert som figur 9.3.)

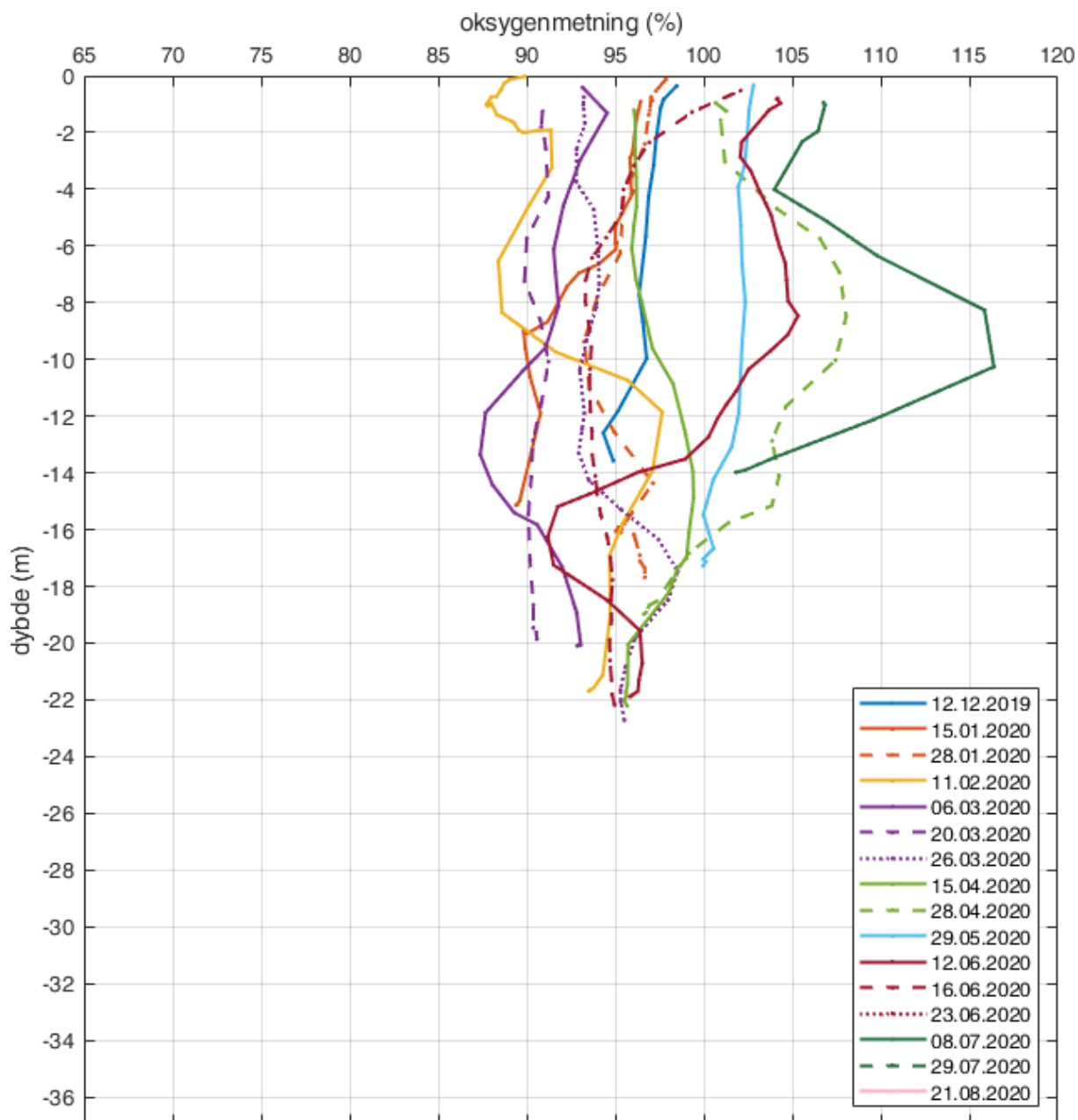
14.2.2. Stasjon H2 – kontrollmerd, nært sentrum



Figur 14.4: Salinitet (‰) i stasjon H2 (kontrollmerd/merd5 – nært sentrum) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni, 29. juli og 21. august 2020.

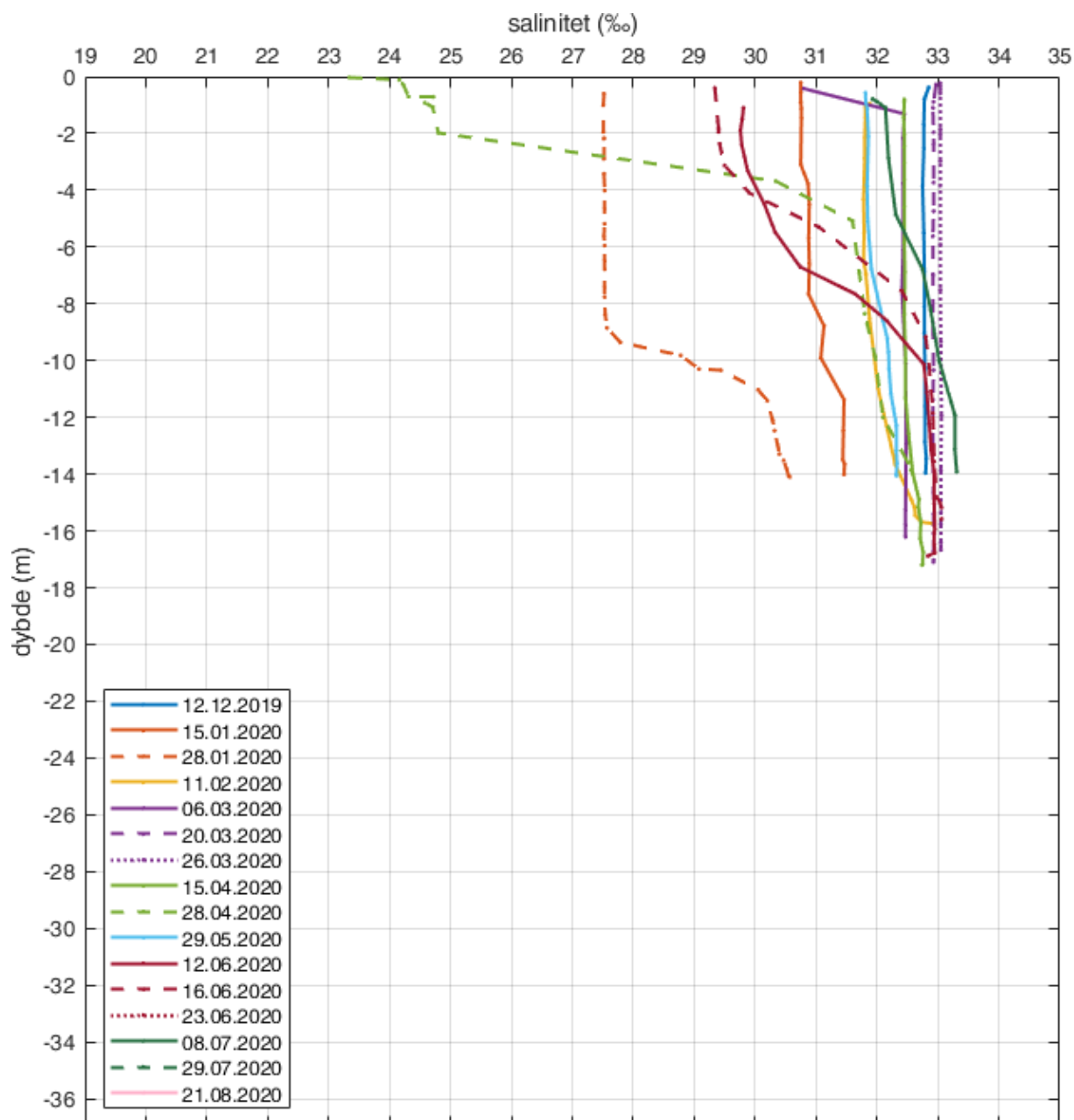


Figur 14.5: Temperatur (°C) i stasjon H2 (kontrollmerd/merd5 – nært sentrum) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni, 29. juli og 21. august 2020.

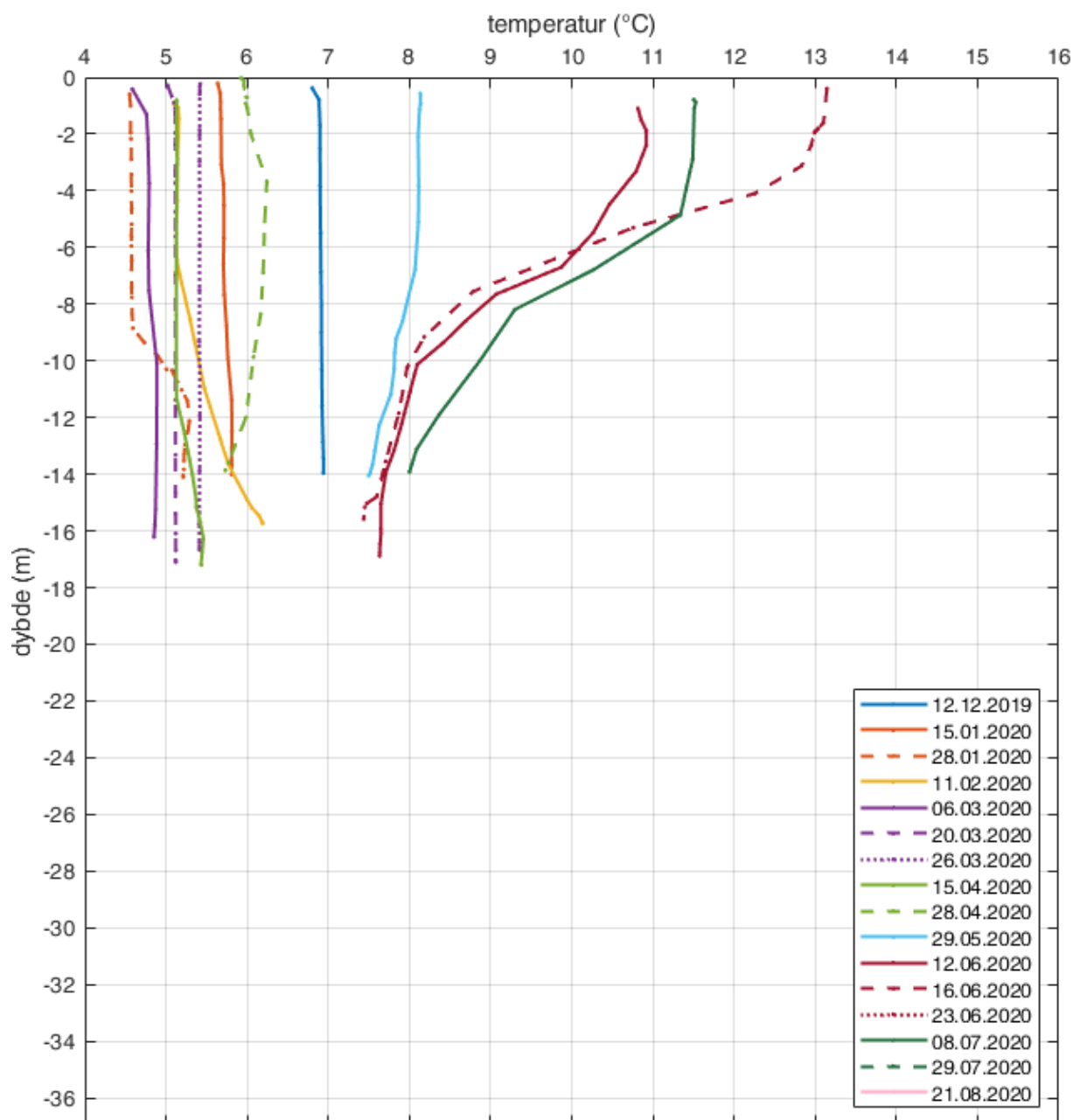


Figur 14.6: Oksygenmetning (%) i stasjon H2 (kontrollmerd/merd5 – nært sentrum) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni, 29. juli og 21. august 2020.

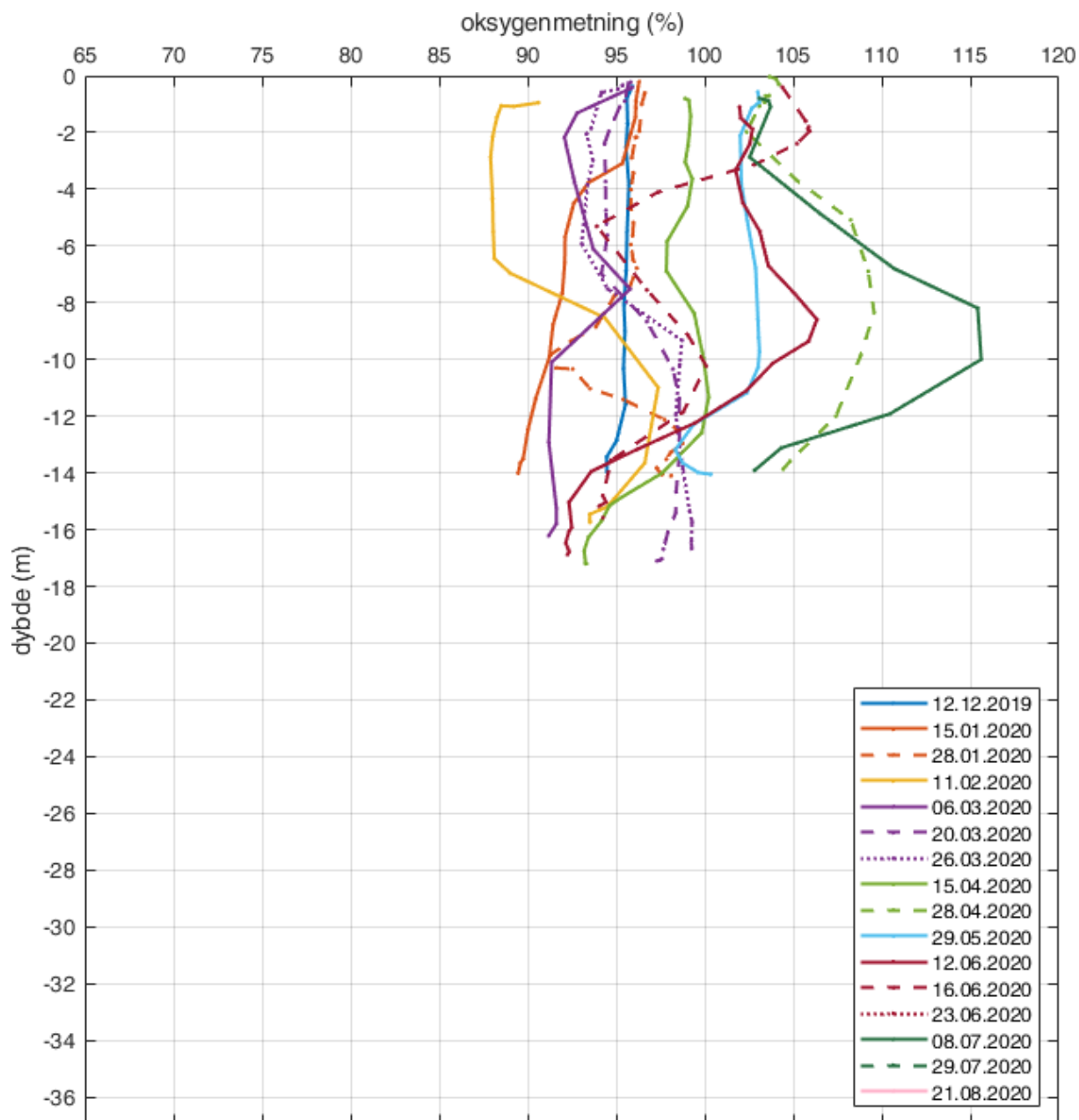
14.2.3. Stasjon H3 – kontrollmerd, skjørtvegg øst



Figur 14.7: Salinitet (‰) i stasjon H3 (kontrollmerd/merd 5 – skjørtvegg øst) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni, 29. juli og 21. august 2020.

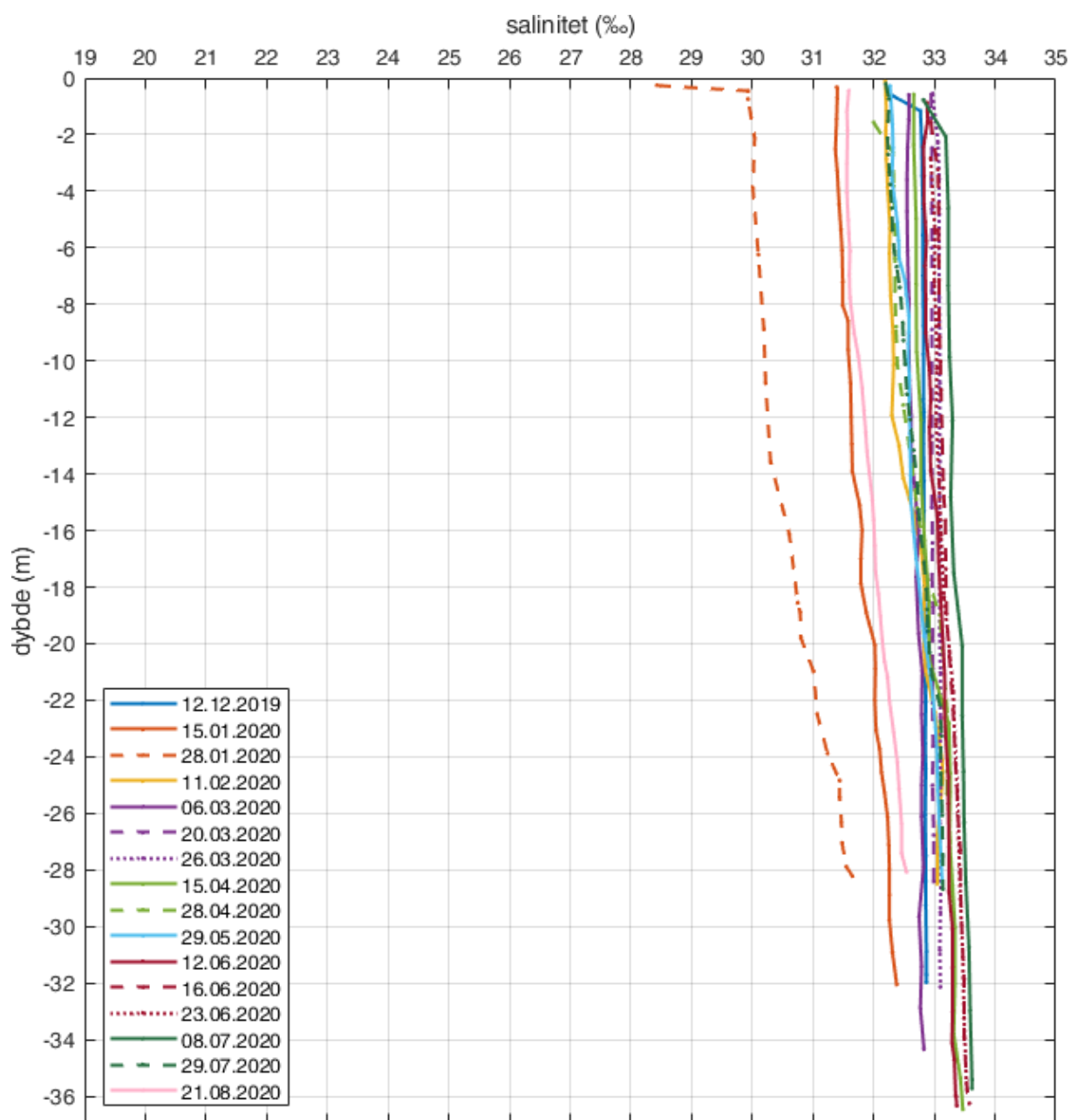


Figur 14.8: Temperatur (°C) i stasjon H3 (kontrollmerd/merd 5 – skjørtvegg øst) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni, 29. juli og 21. august 2020.

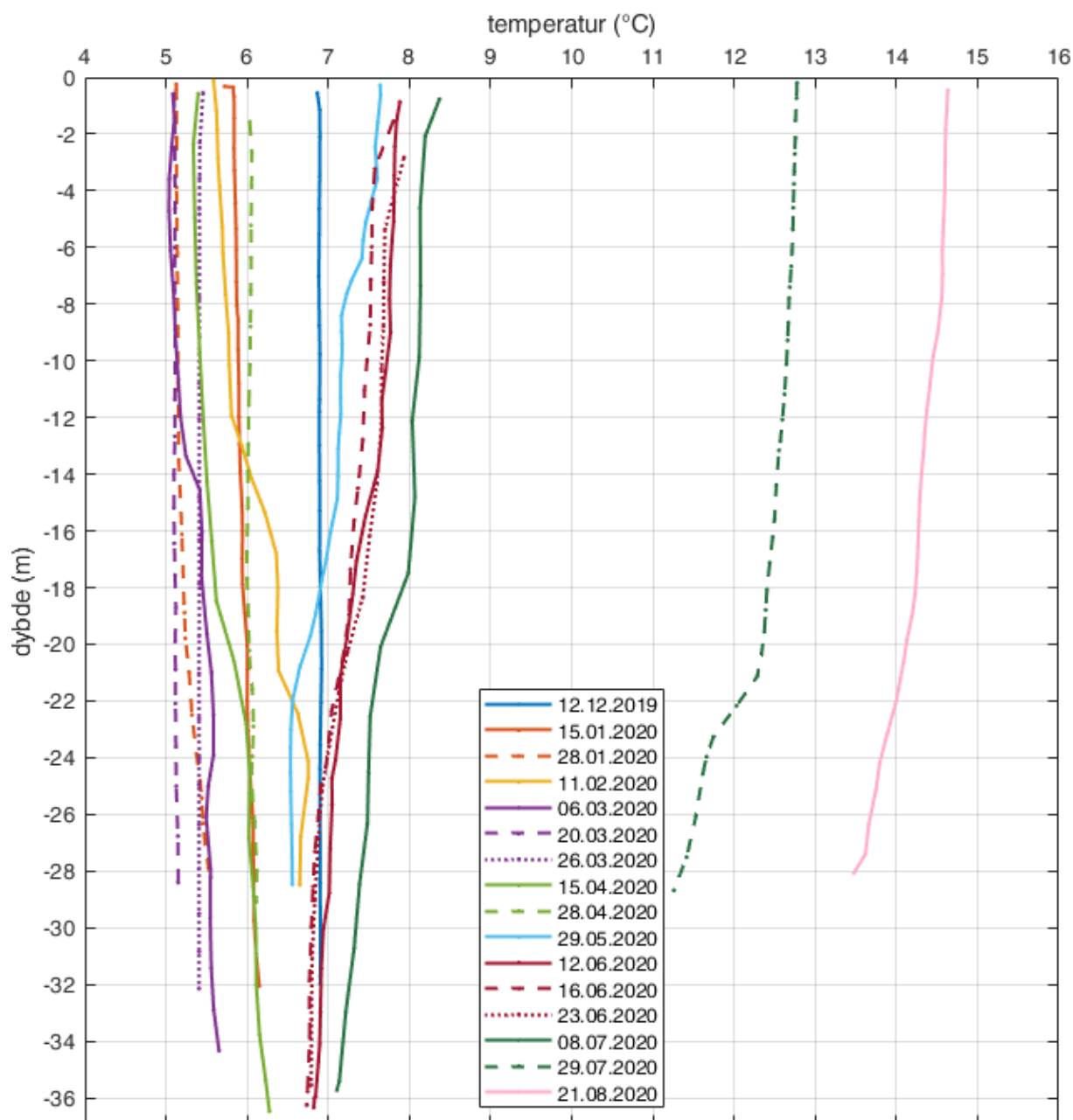


Figur 14.9: Oksygenmetning (%) i stasjon H3 (kontrollmerd/merd 5 – skjørtvegg øst) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. Det ble ikke utført målinger i dette punktet den 23. juni, 29. juli og 21. august 2020.

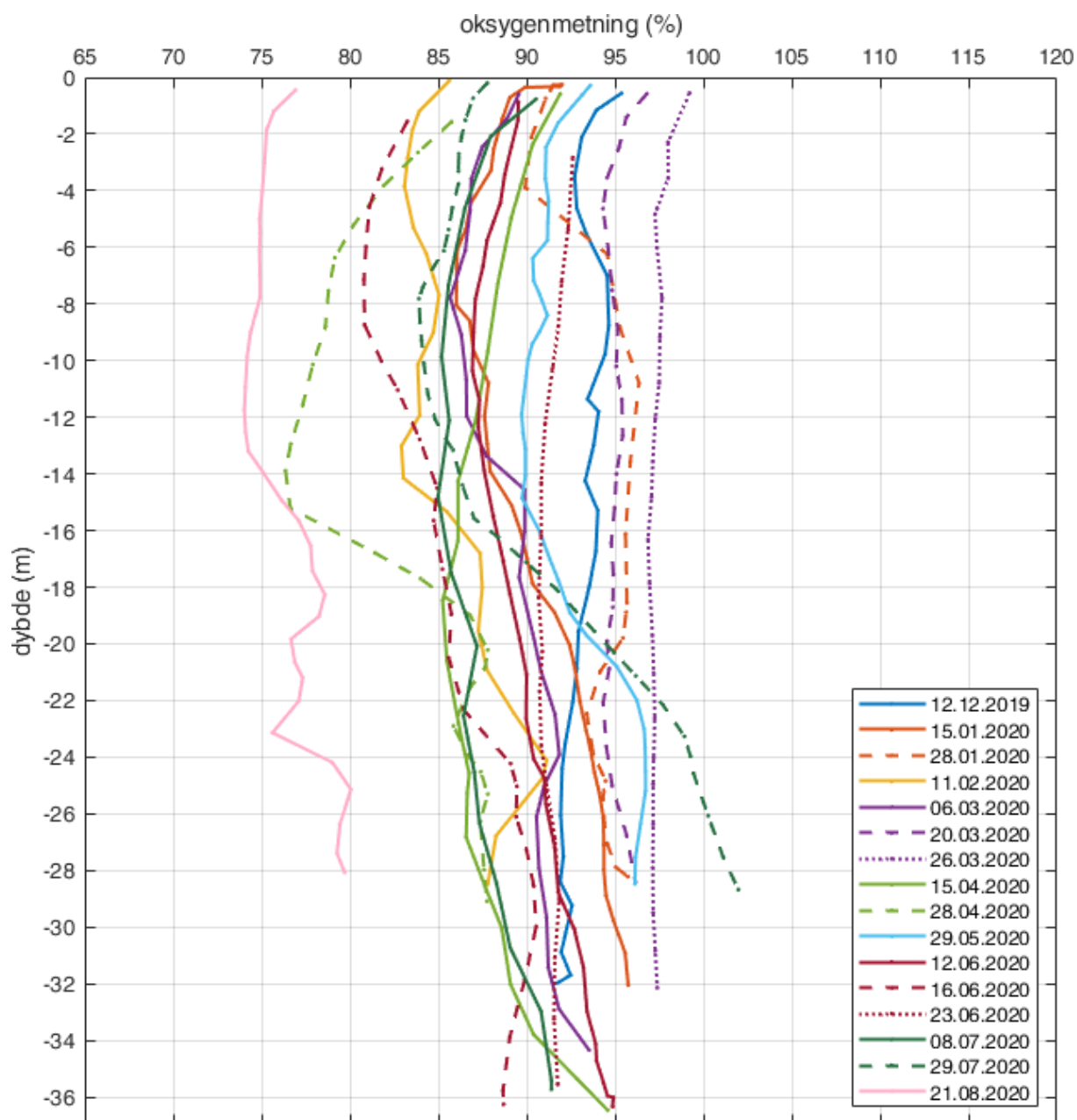
14.2.4. Stasjon H5 – AQT3, nært sentrum



Figur 14.10: Salinitet (‰) i stasjon H5 (Aquatraz #3 – nært sentrum) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

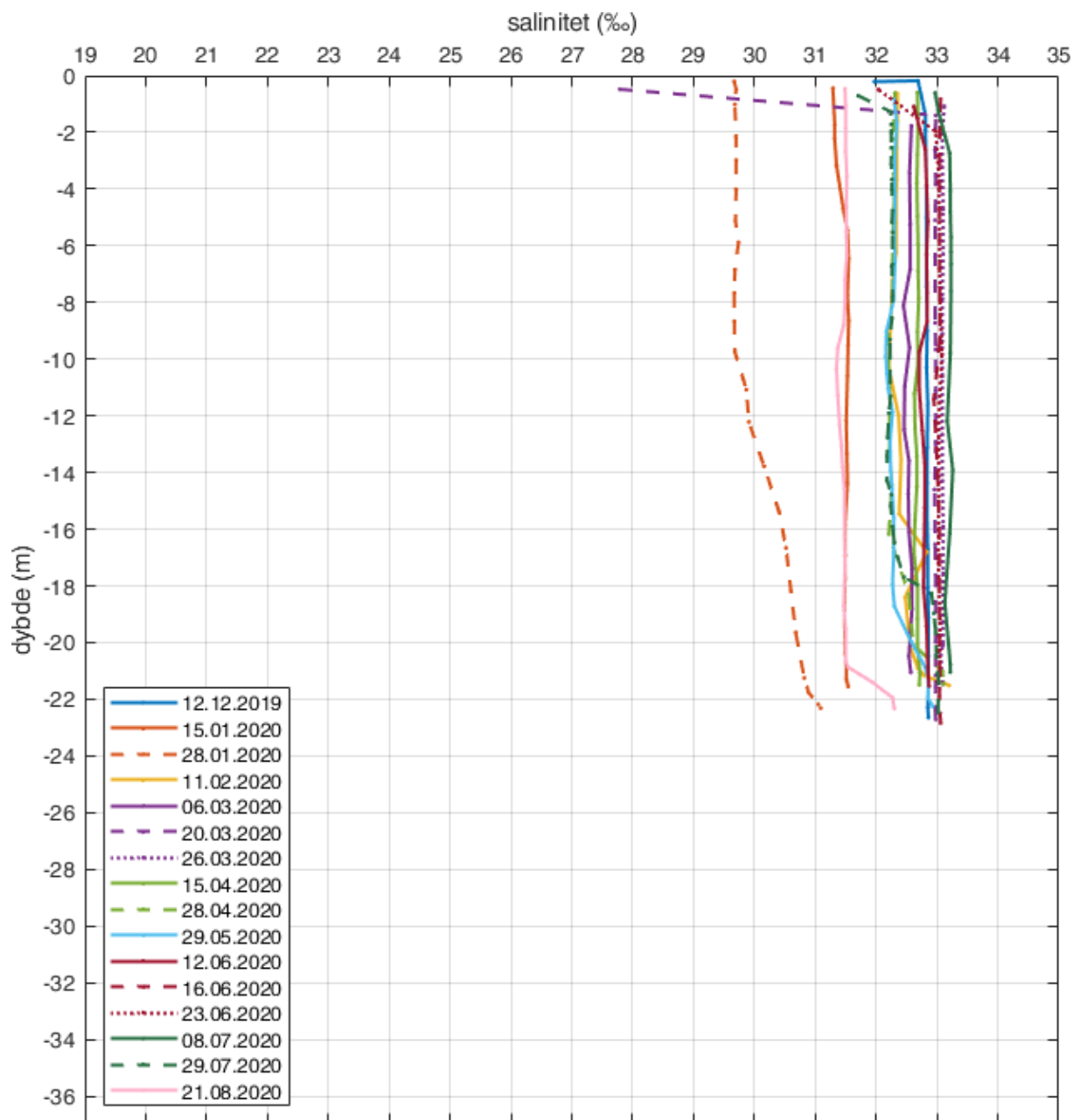


Figur 14.11: Temperatur (°C) i stasjon H5 (Aquatraz #3 – nært sentrum) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst i midten for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

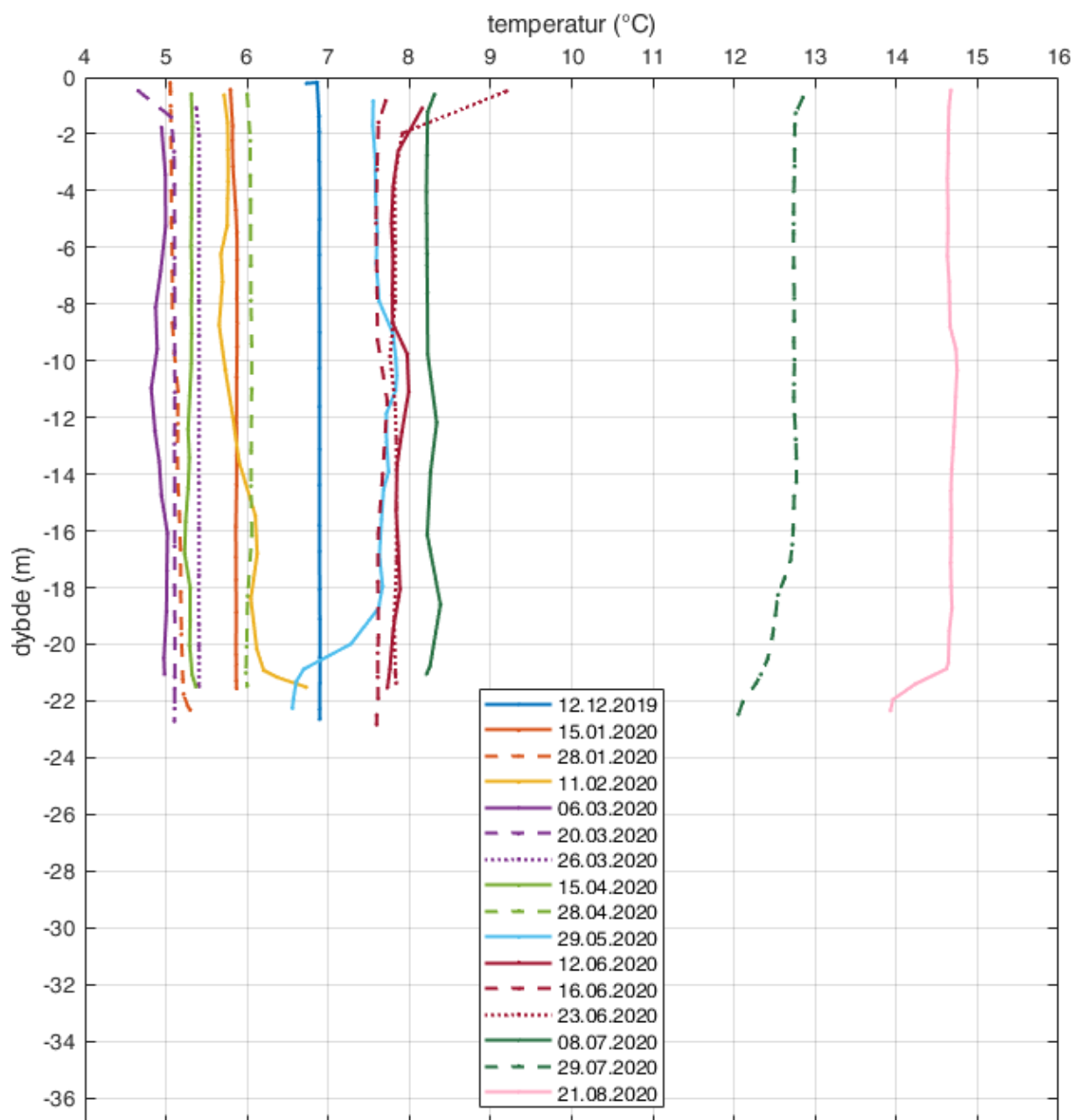


Figur 14.12: Oksygenmetning (%) i stasjon H5 (Aquatraz #3 – nært sentrum) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

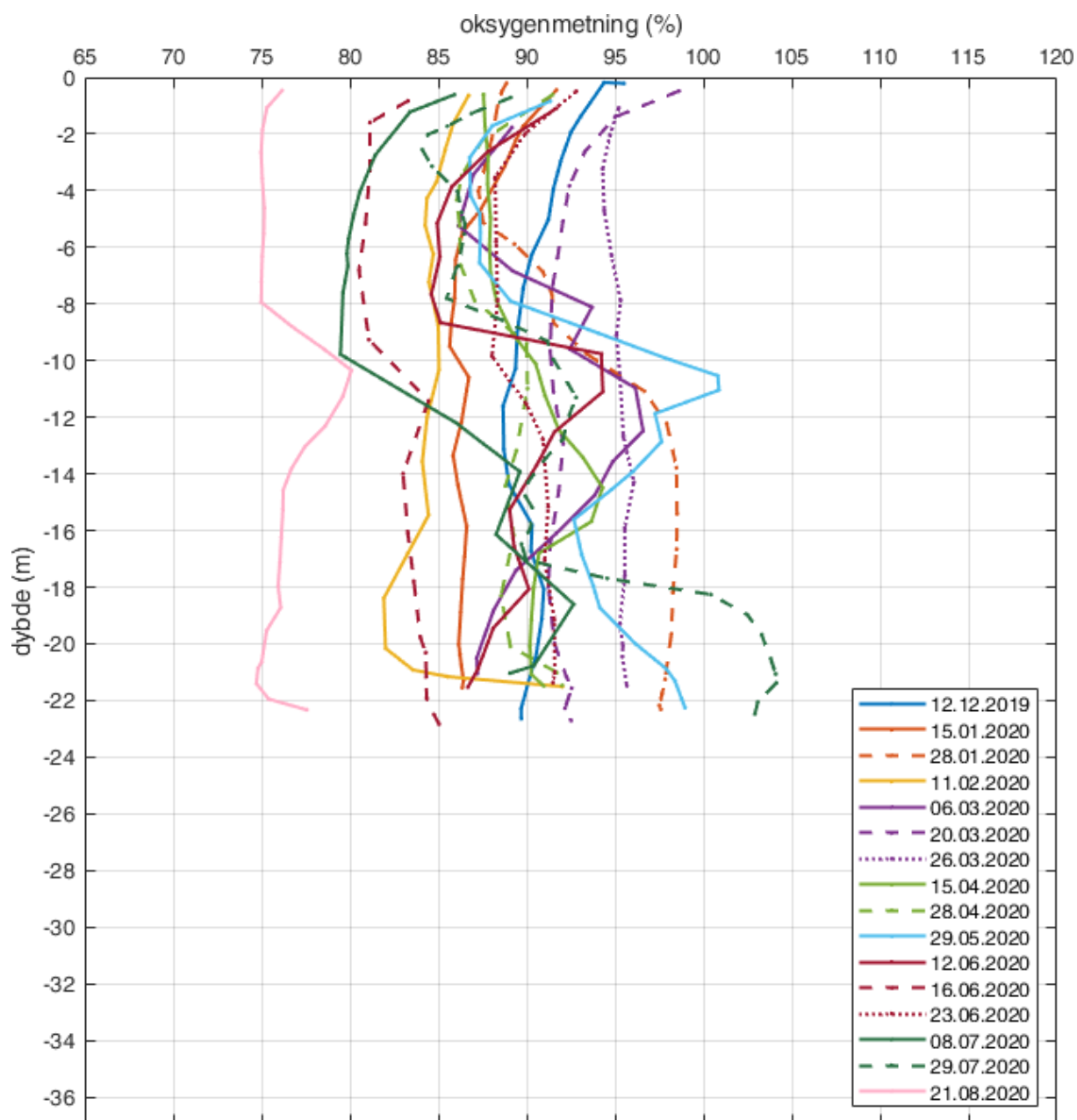
14.2.5. Stasjon H6 – AQT3, ved yttervegg gangbro



Figur 14.13: Salinitet (‰) i stasjon H6 (Aquatraz #3 – ved yttervegg gangbro) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

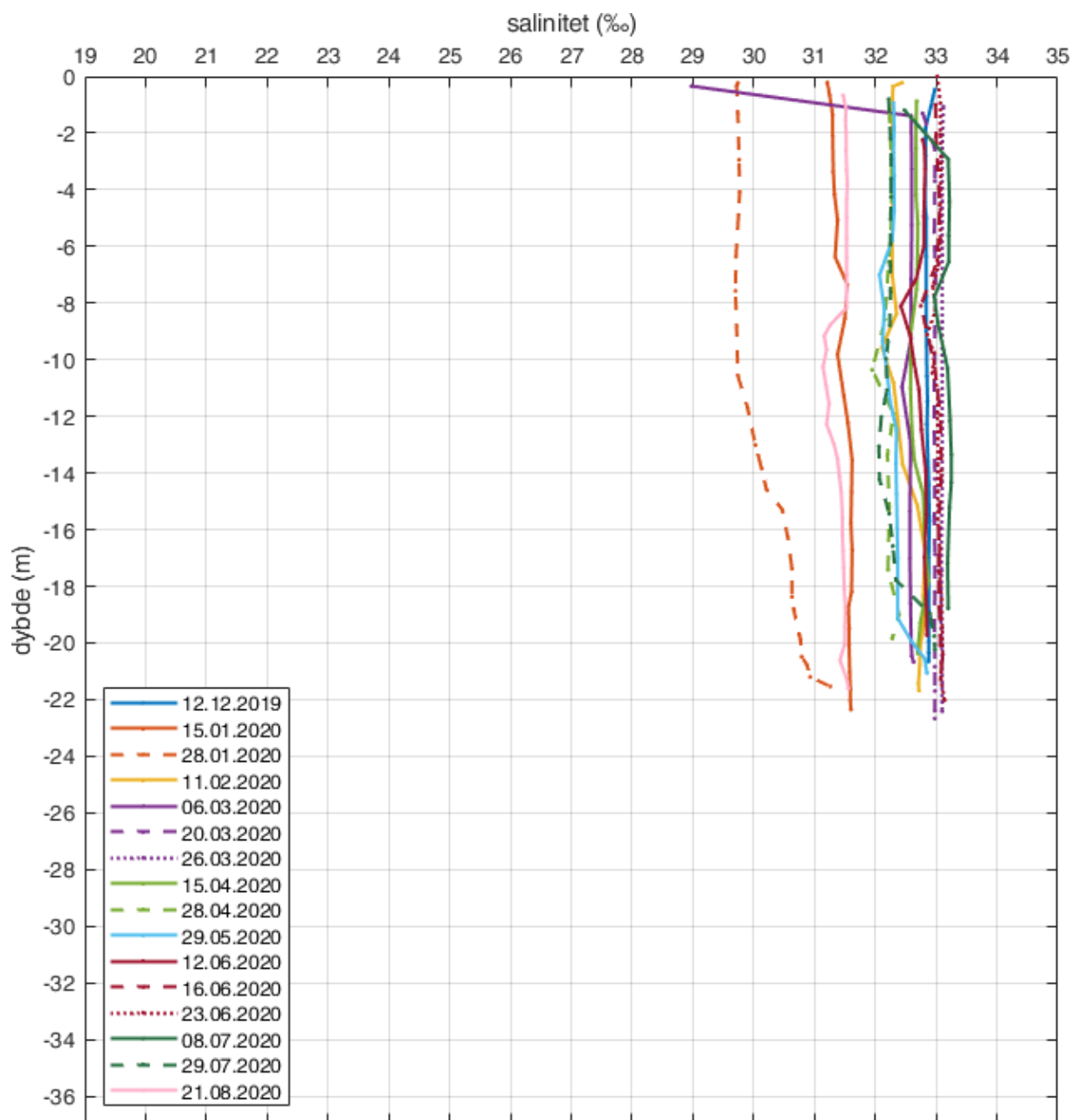


Figur 14.14: Temperatur (°C) i stasjon H6 (Aquatraz #3 – ved yttervegg gangbro) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst i midten for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

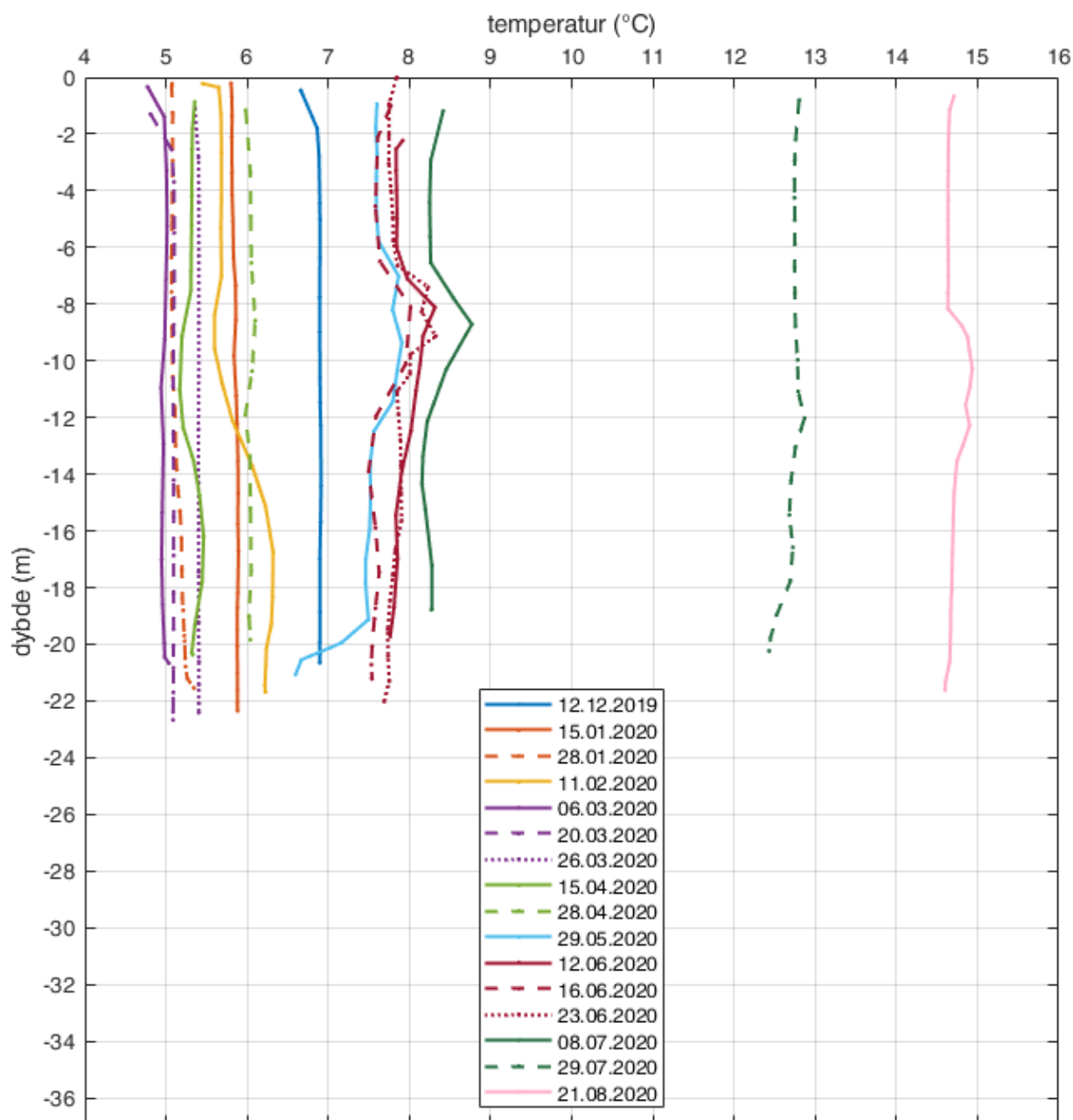


Figur 14.15: Oksygenmetning (%) i stasjon H6 (Aquatraz #3 – ved yttervegg gangbro) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

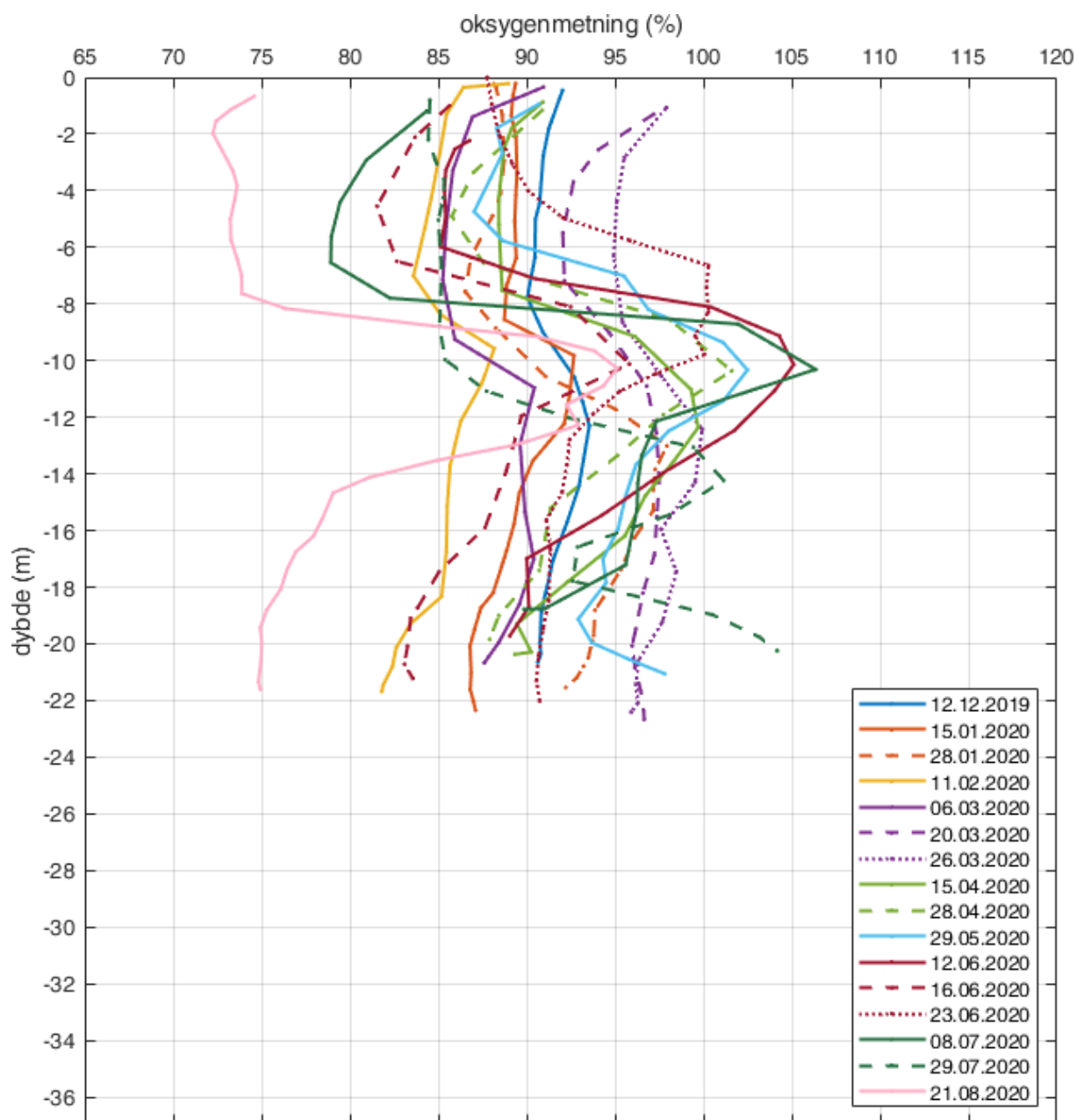
14.2.6. Stasjon H7 – AQT3, ved merdvindu



Figur 14.16: Salinitet (‰) i stasjon H8 (Aquatraz #3 – ved merdvindu) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

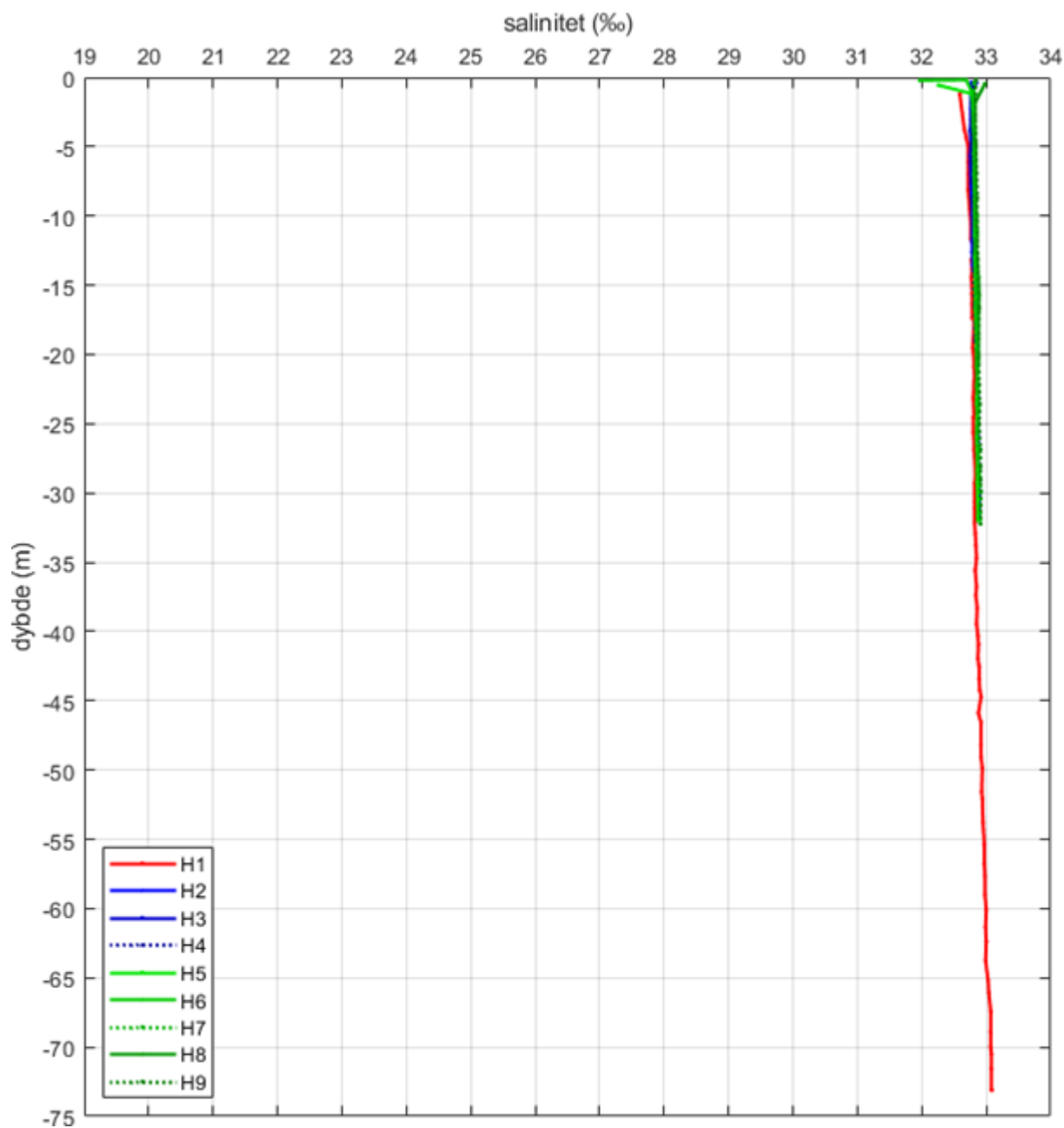


Figur 14.17: Temperatur (°C) i stasjon H8 (Aquatraz #3 – ved merdvindu) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst i midten for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

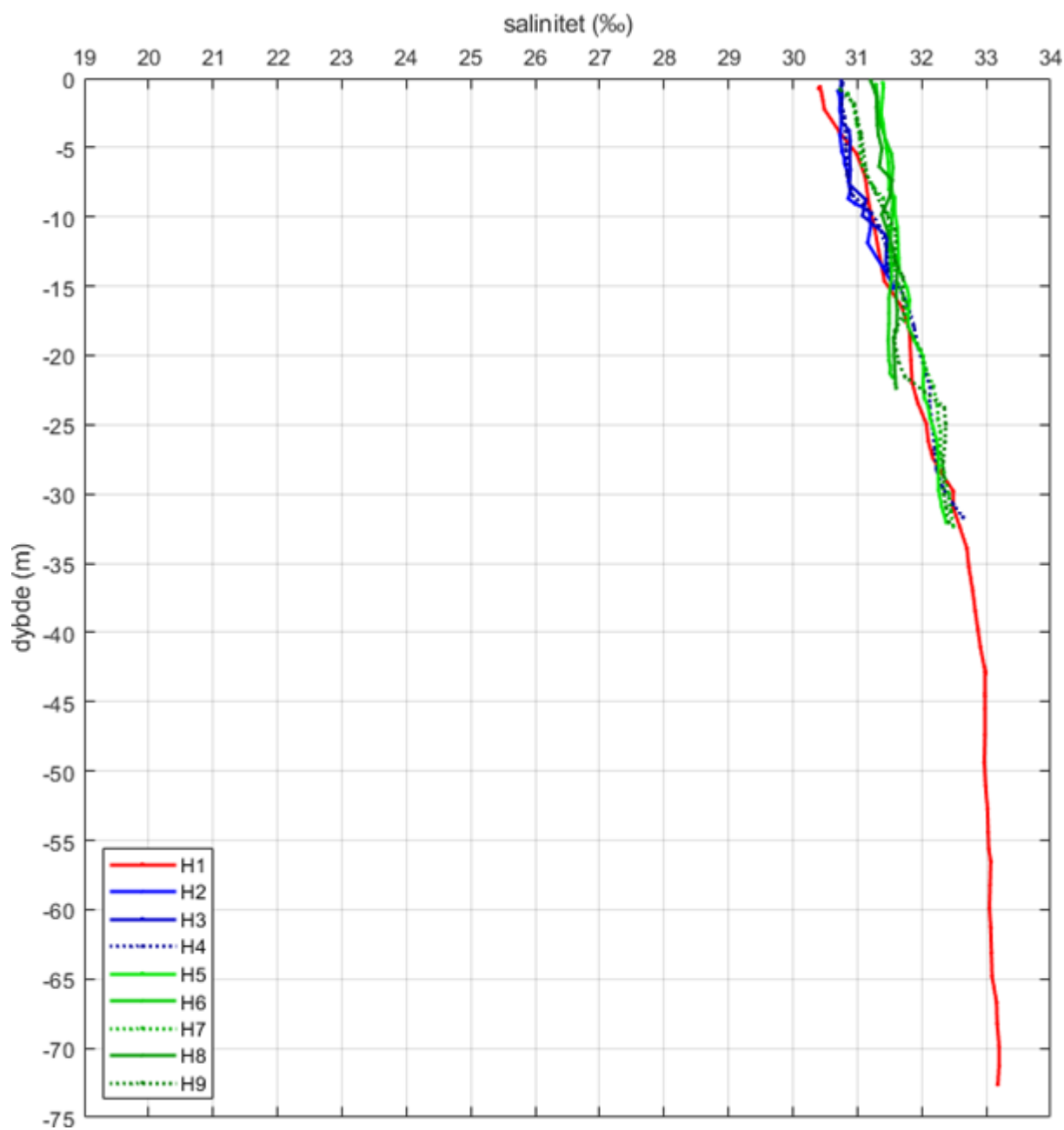


Figur 14.18: Oksygenmetning (%) i stasjon H8 (Aquatraz #3 – ved merdvindu) ved Kyrøyene. Målingene er utført i perioden desember 2019 – august 2020. Se tegnforklaringen nederst til høyre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

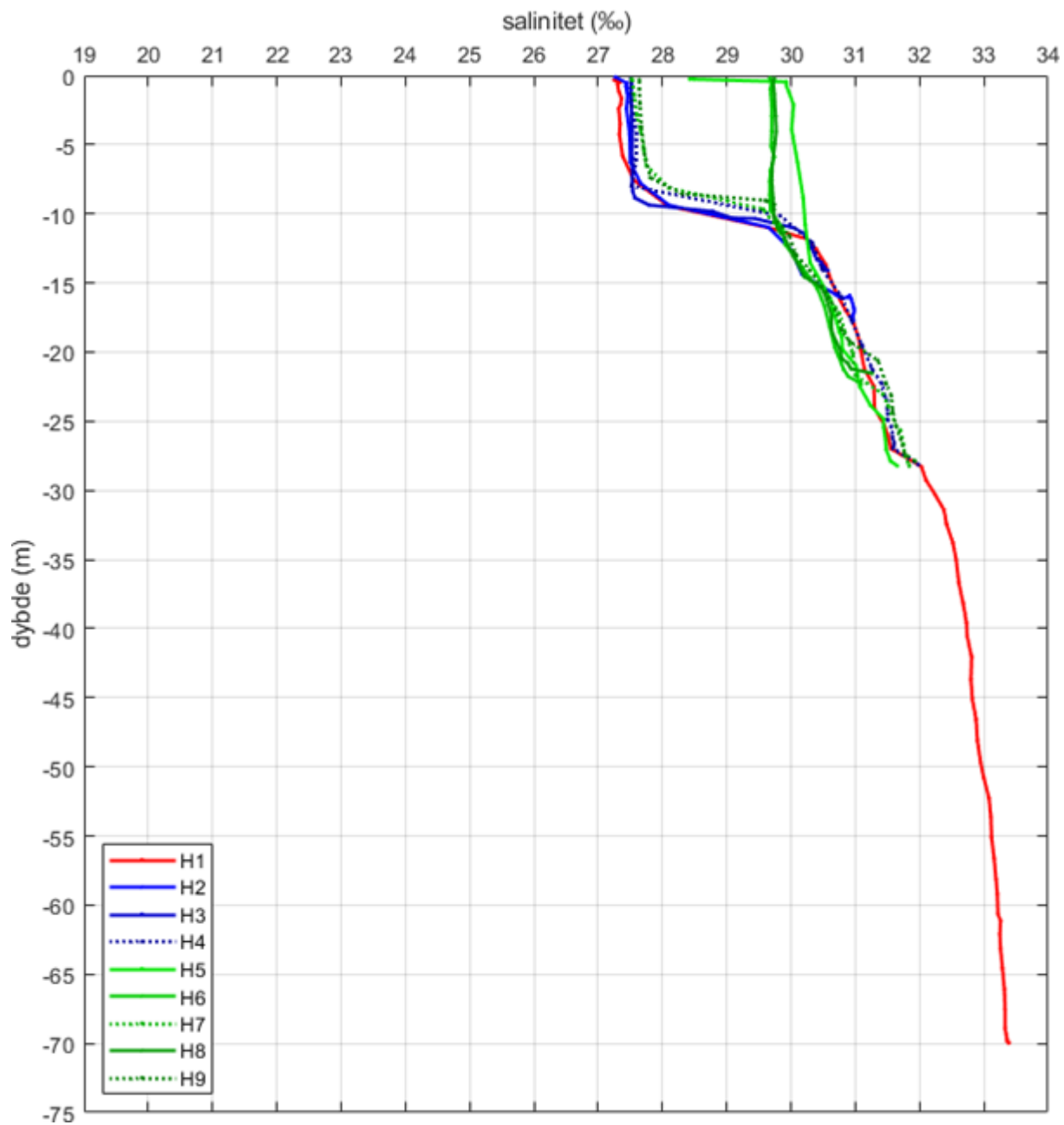
14.2.7. Salinitet – Stasjon H1–H9 for hver måledato



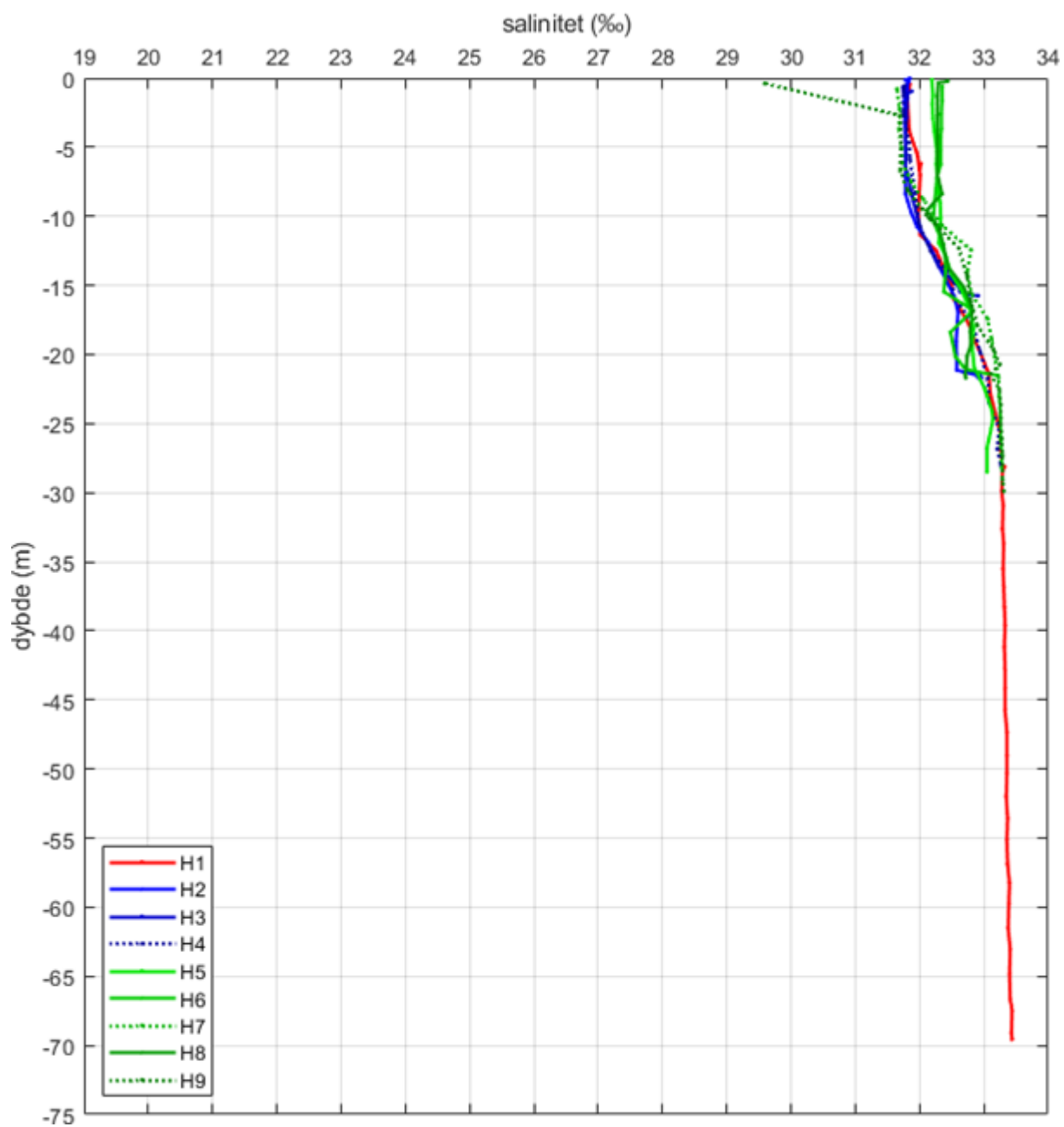
Figur 14.19: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 12.12.2019 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



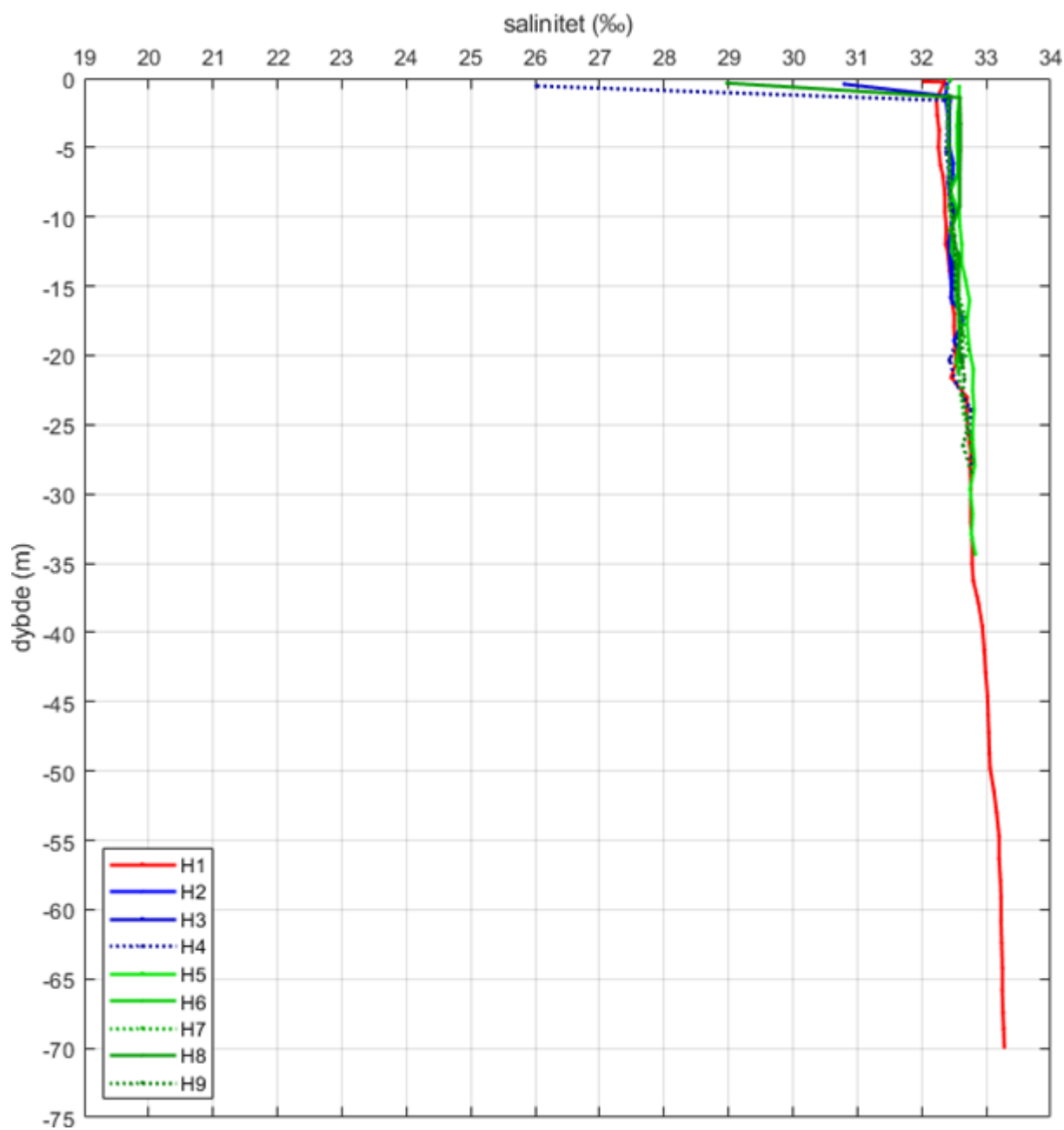
Figur 14.20: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 15.01.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



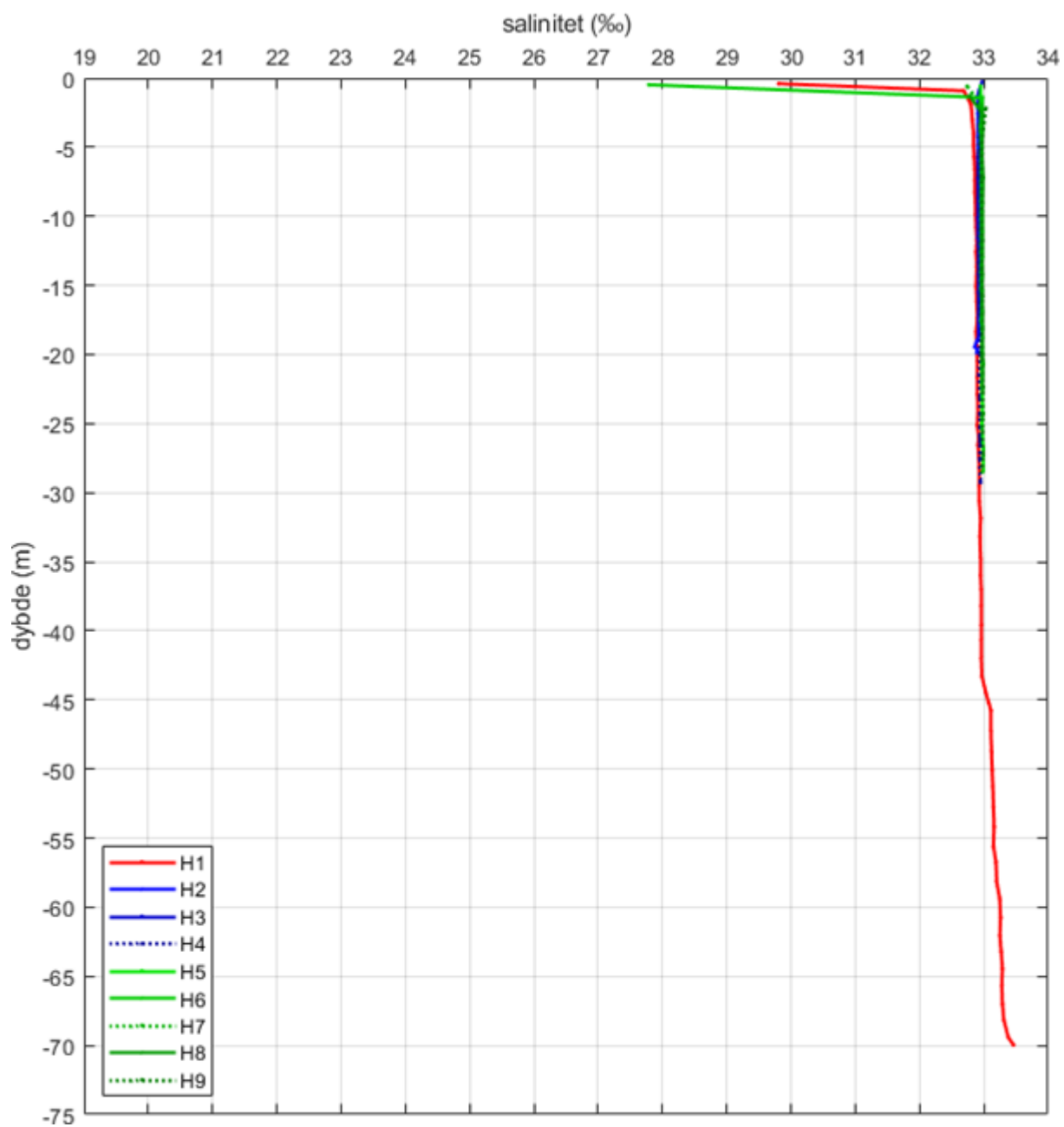
Figur 14.21: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 28.02.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. (Denne figuren er også presentert som figur 9.4, venstre.)



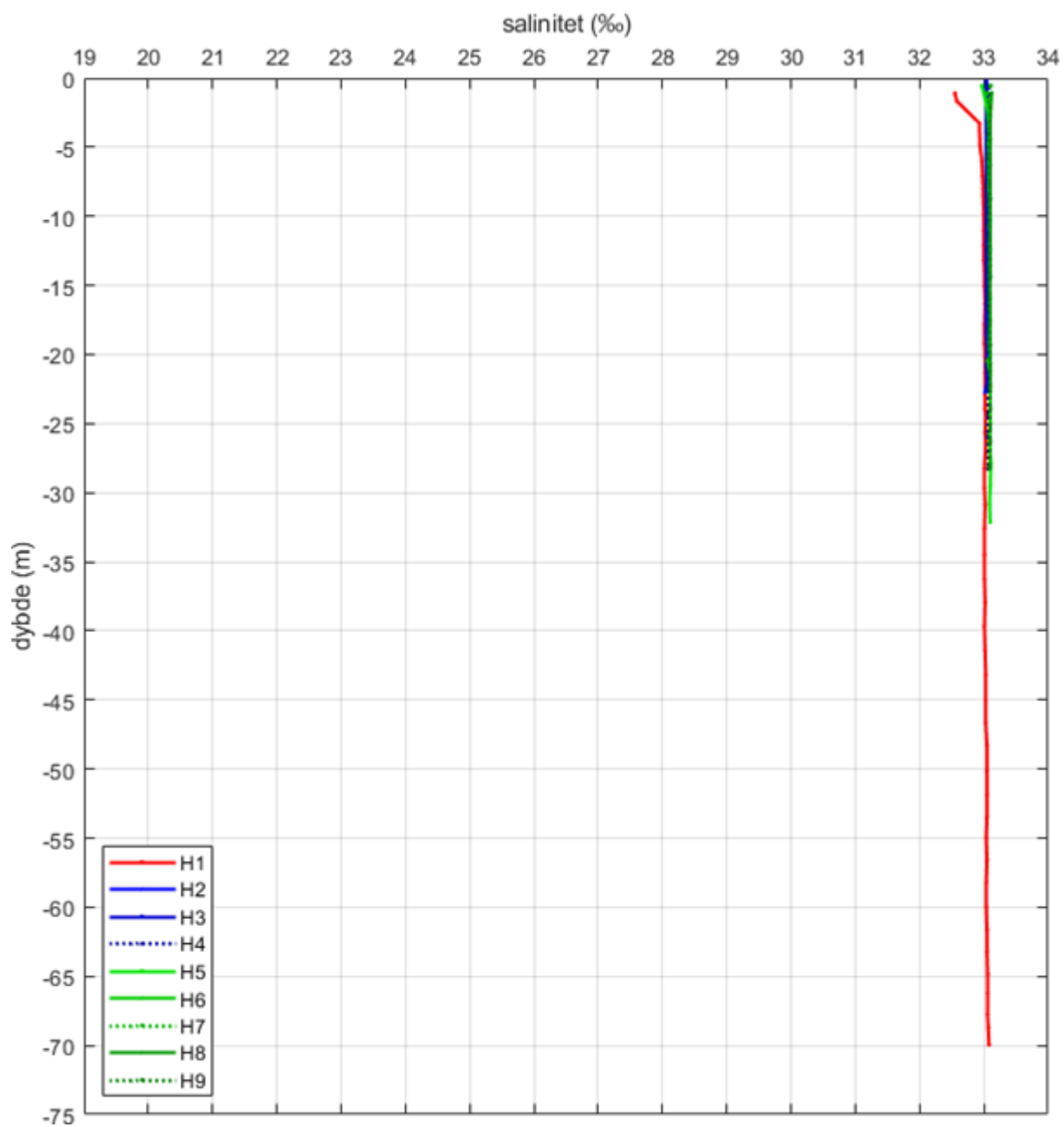
Figur 14.22: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 11.02.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



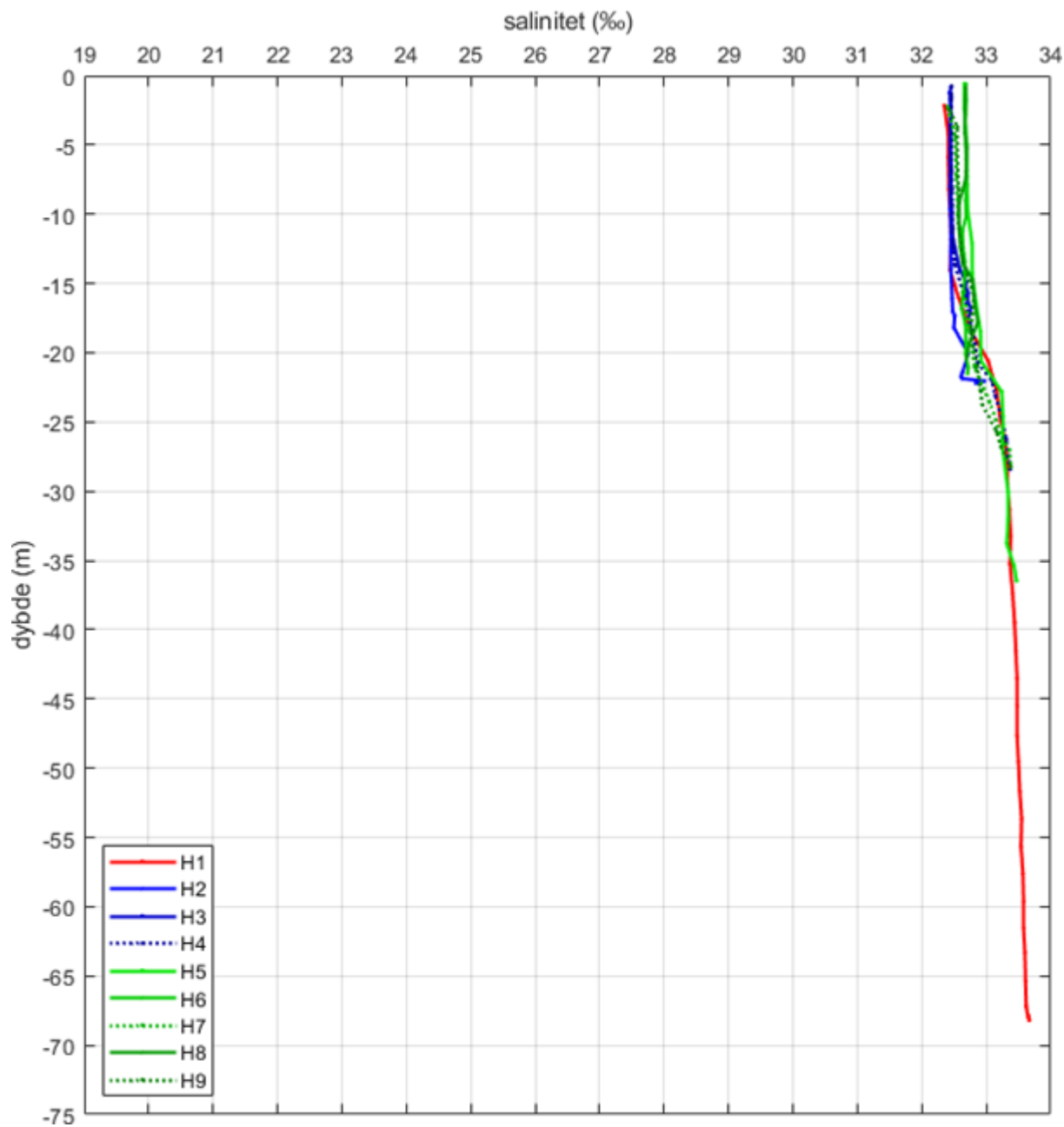
Figur 14.23: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 06.03.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



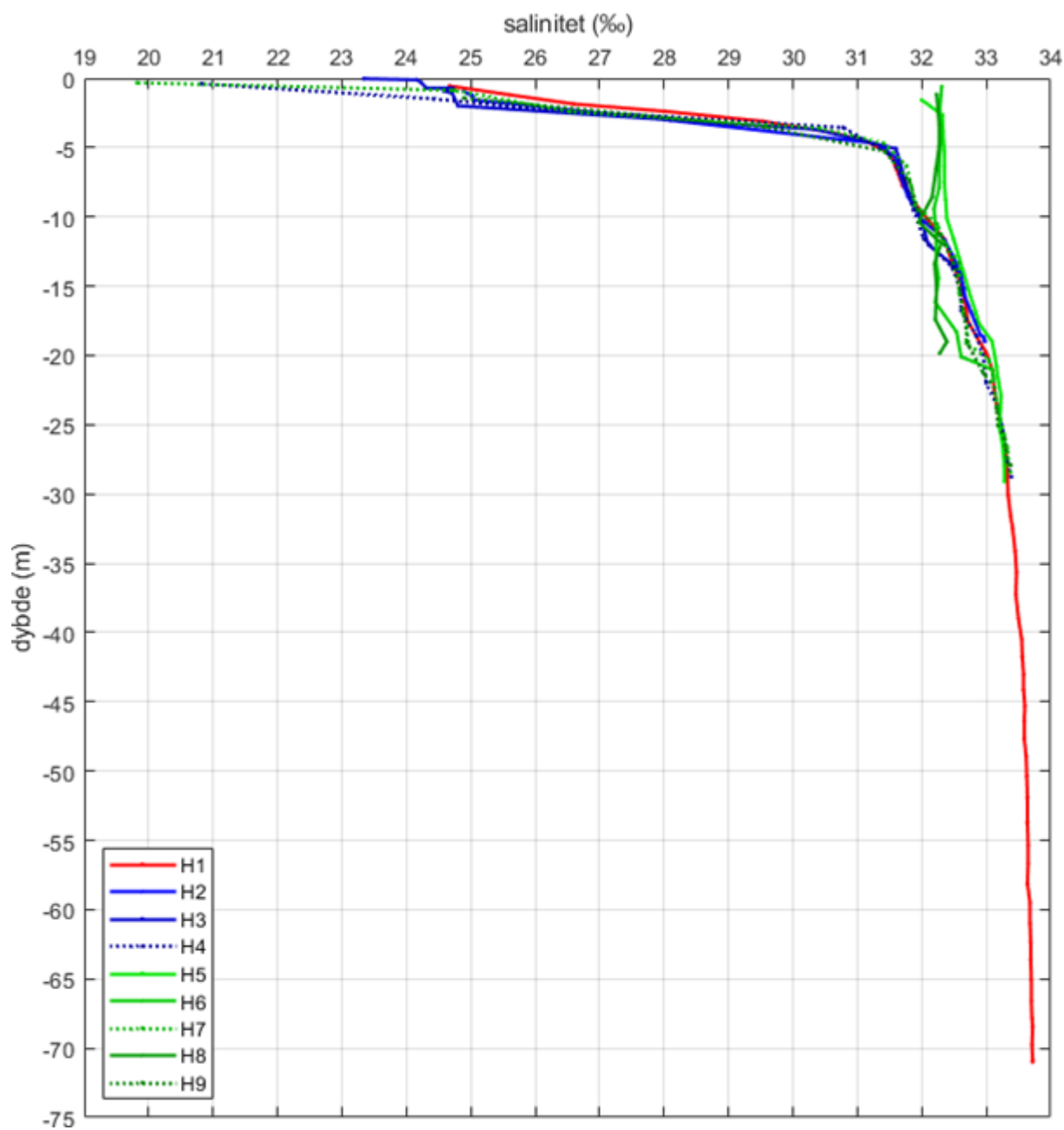
Figur 14.24: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 20.03.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



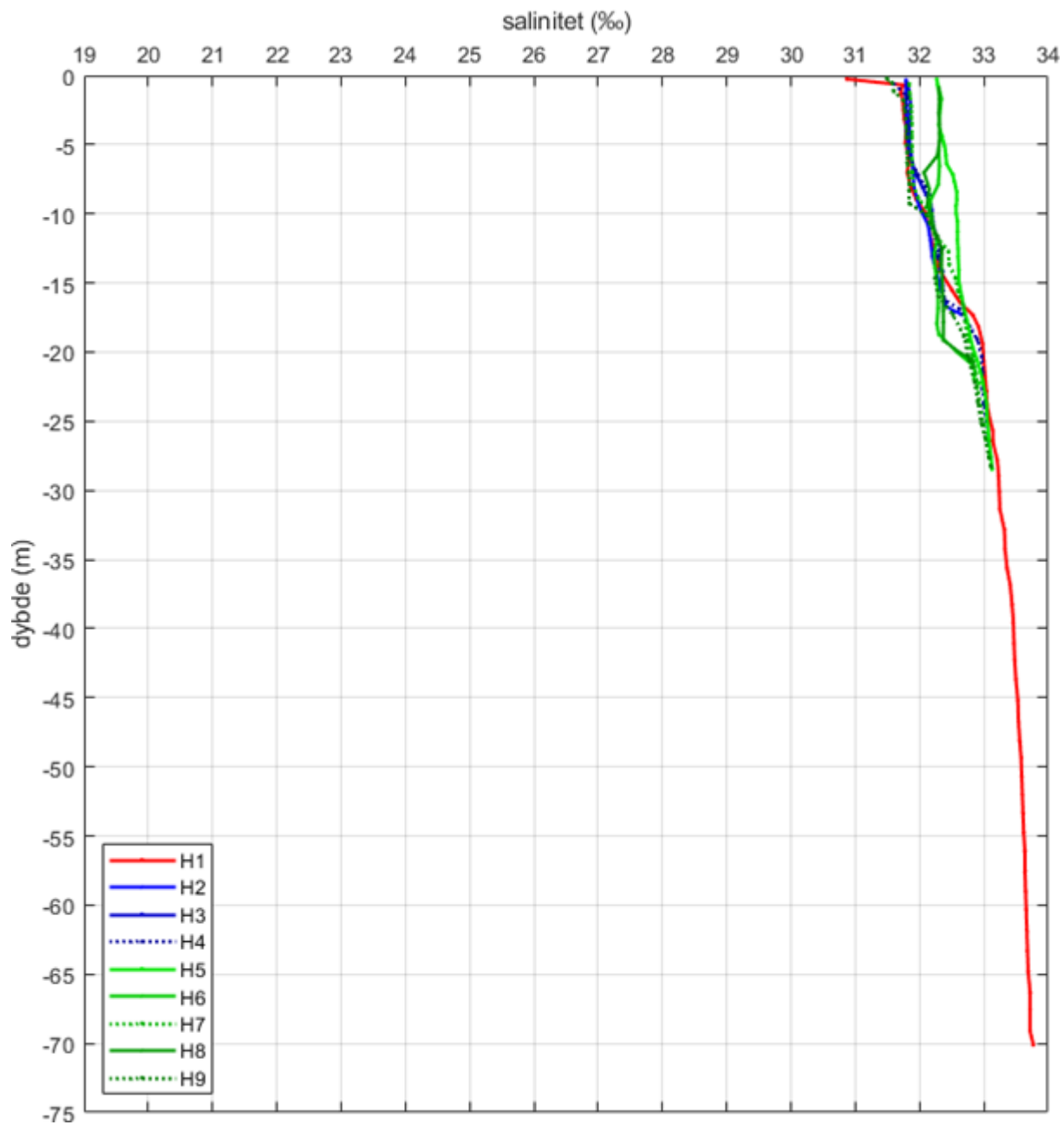
Figur 14.25: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 26.03.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



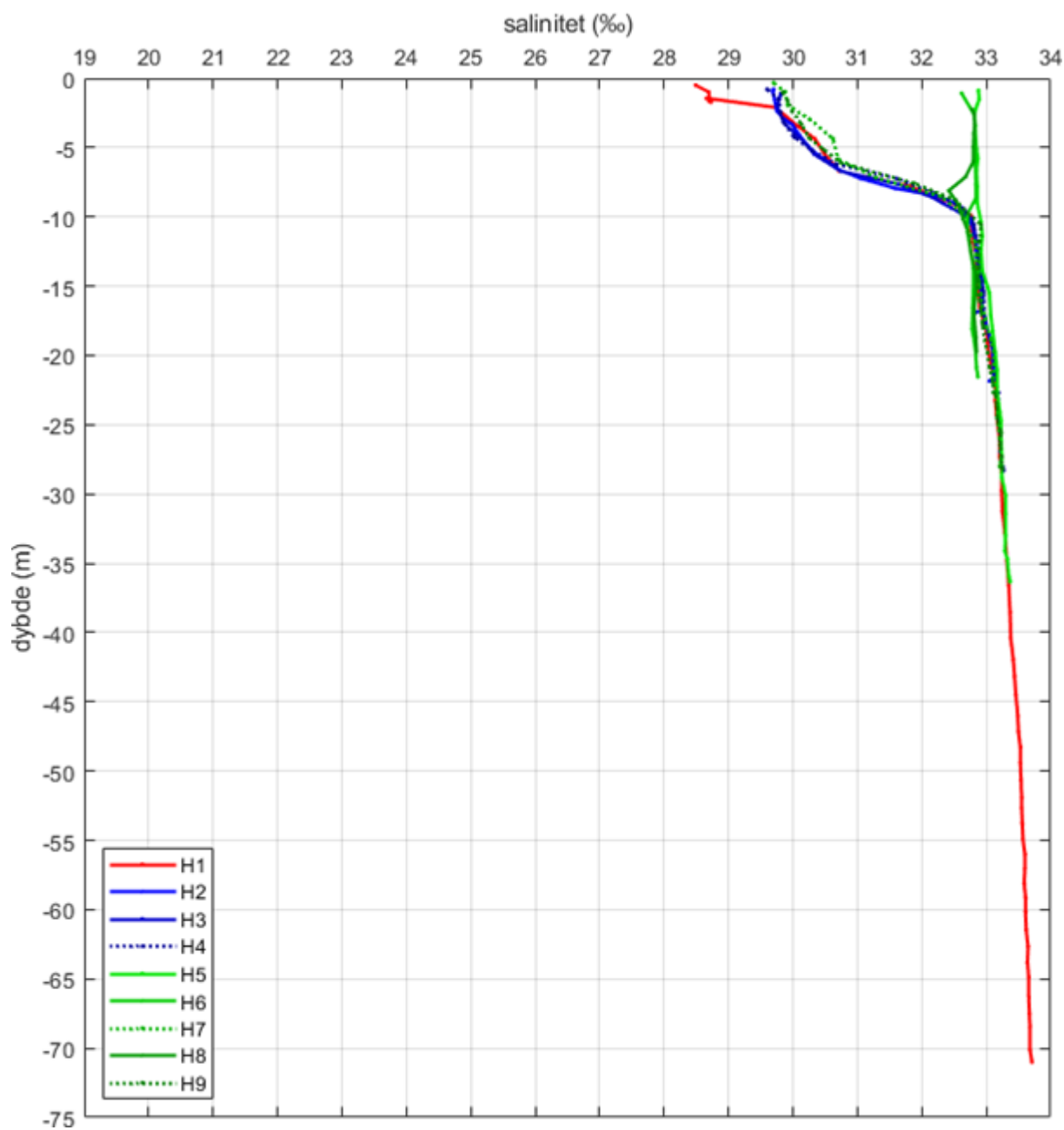
Figur 14.26: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 15.04.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. (Denne figuren er også presentert som figur 9.4, høyre.)



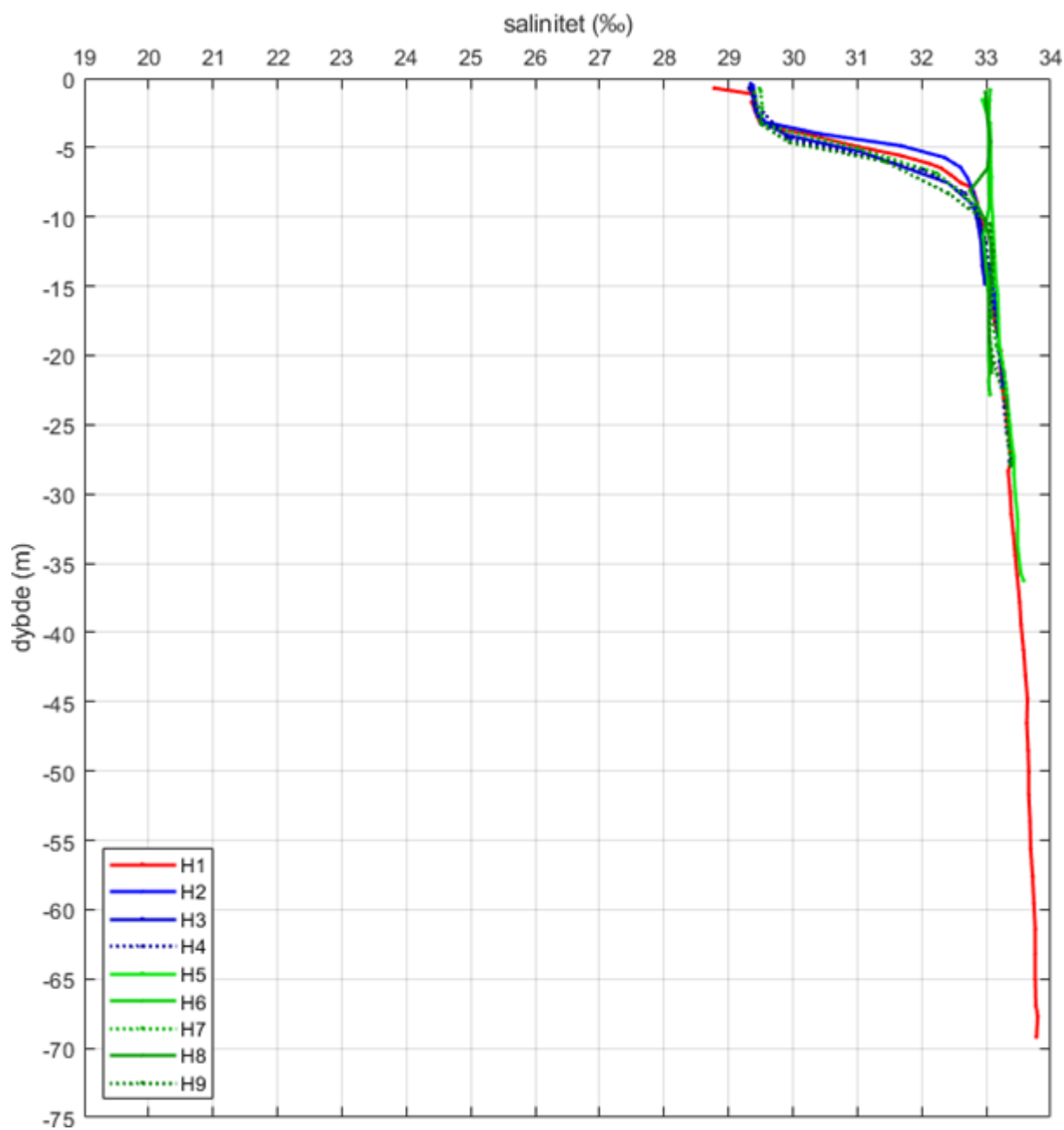
Figur 14.27: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 28.04.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



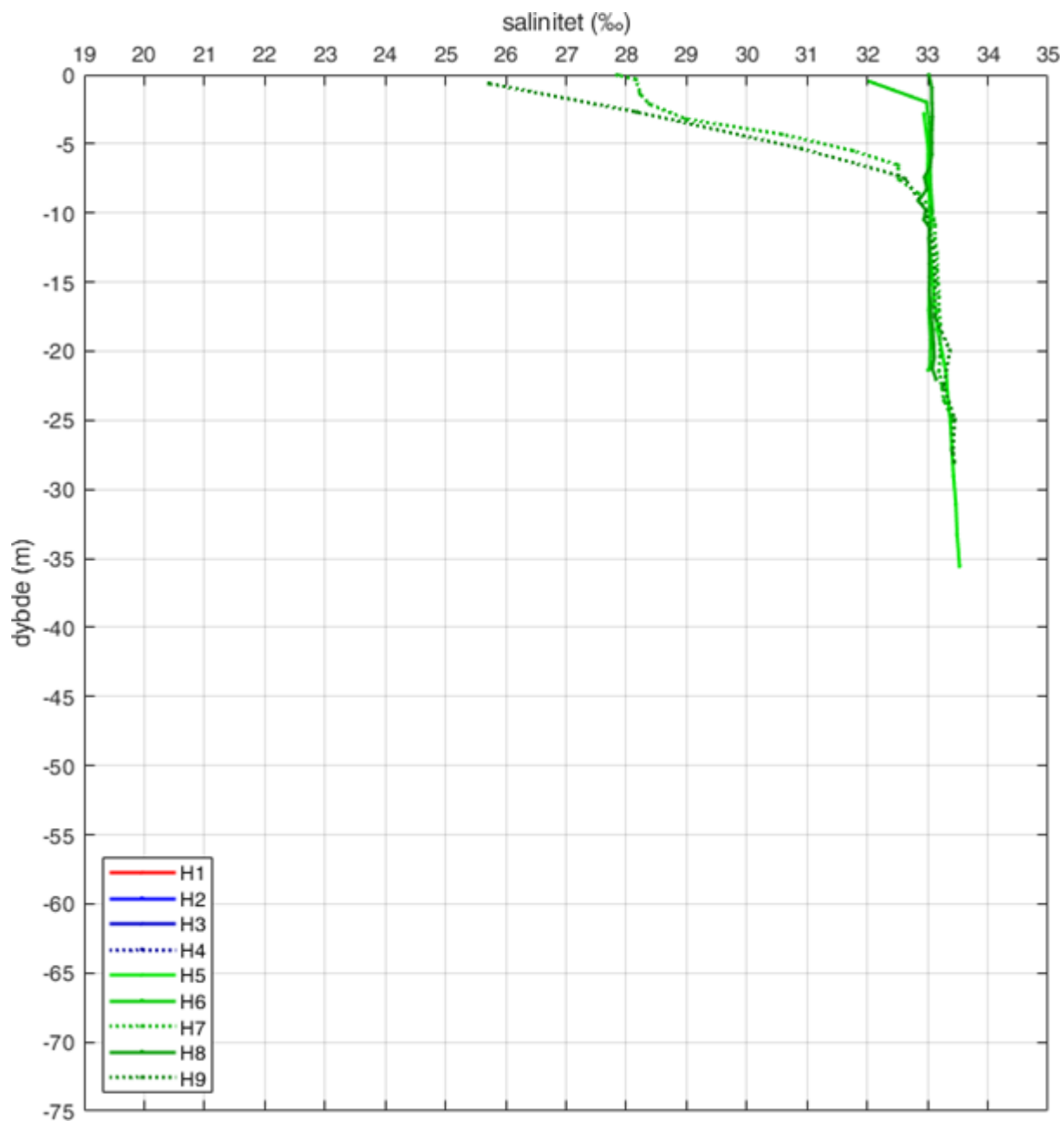
Figur 14.28: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 29.05.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



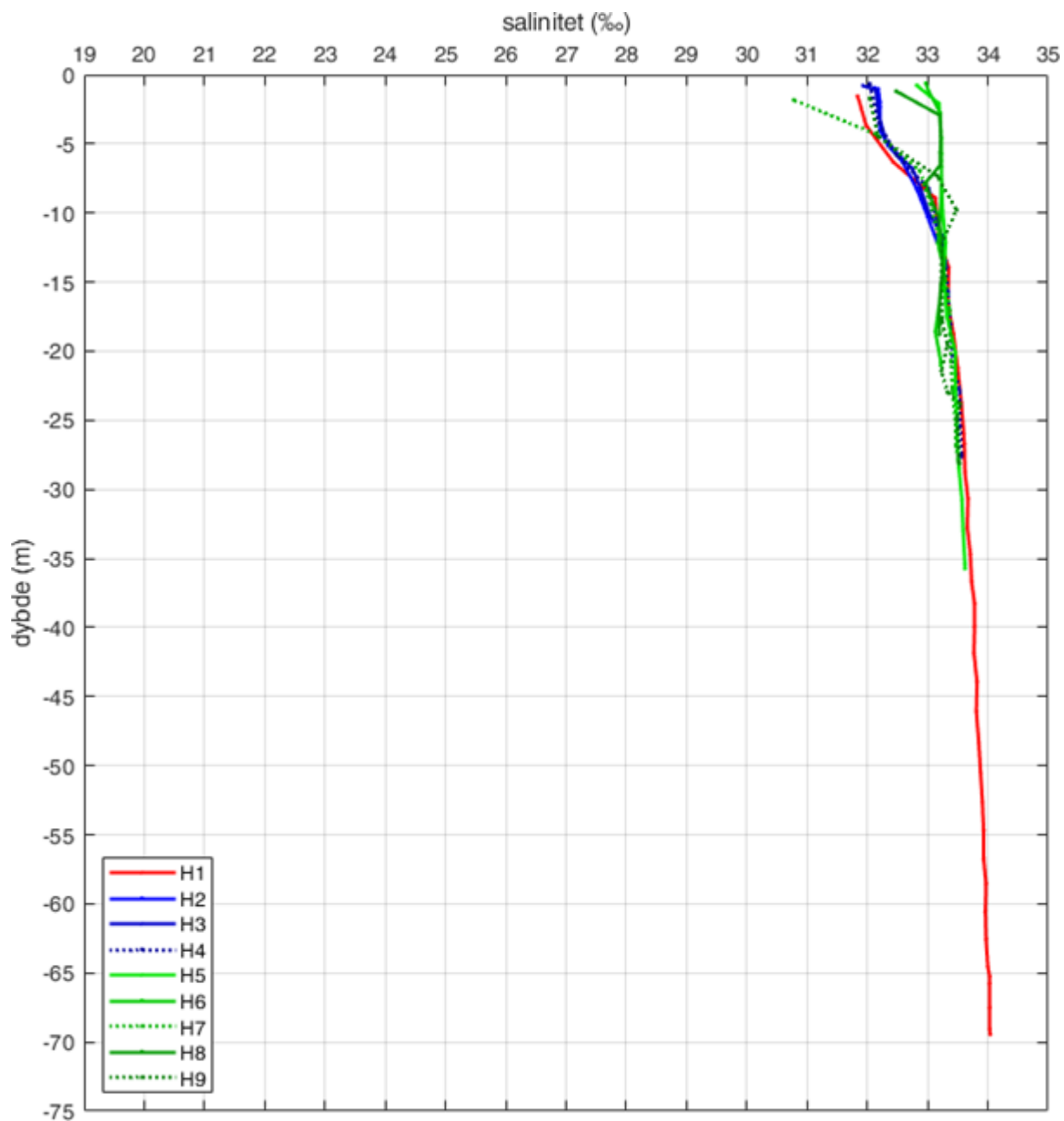
Figur 14.29: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 12.06.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



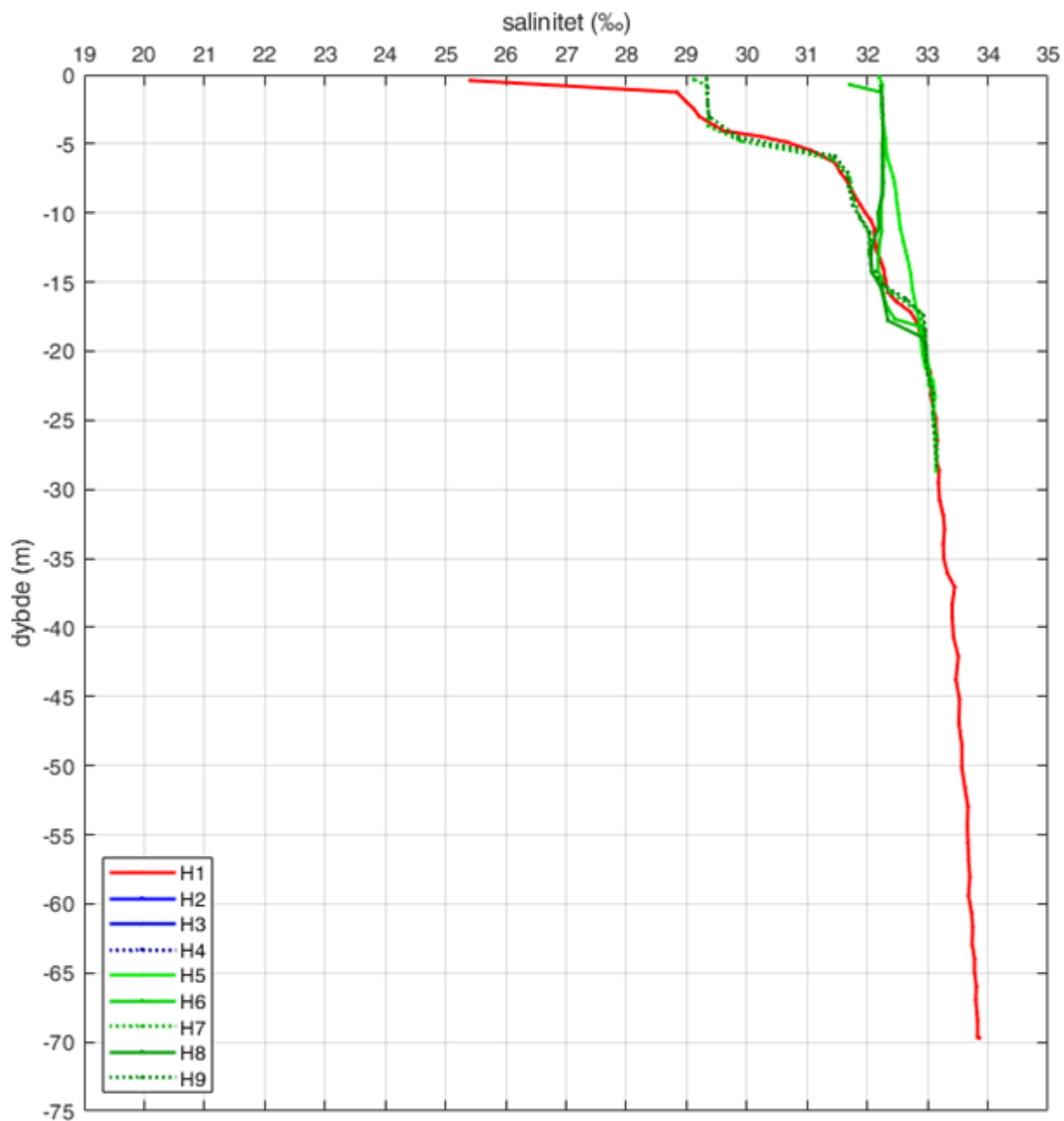
Figur 14.30: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 16.06.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



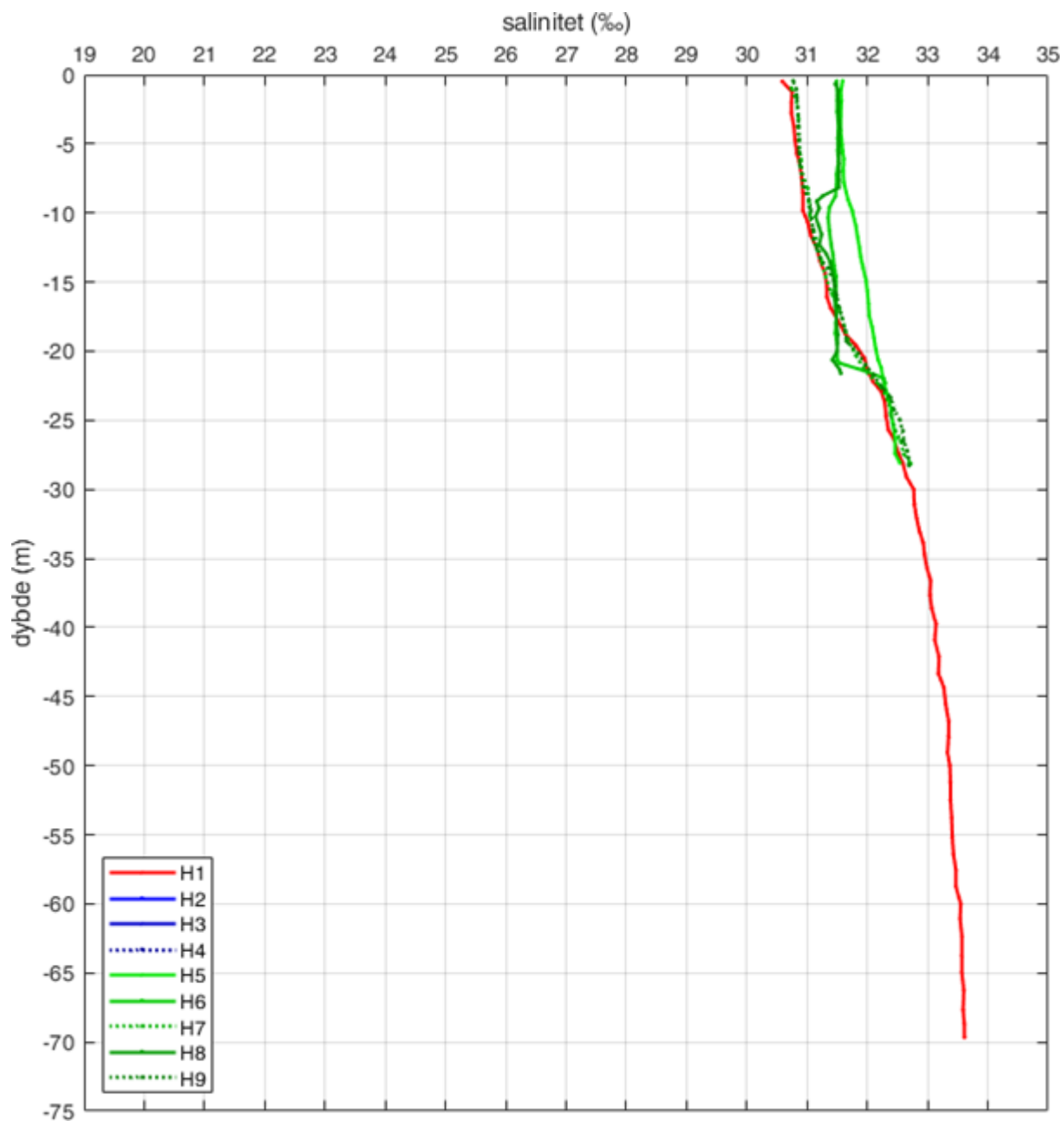
Figur 14.31: Salinitet (‰) i stasjon H5–H9 målt 23.06.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke utført målinger i stasjon H1–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



Figur 14.32: Salinitet (‰) i stasjon H1–H9 målt 08.07.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

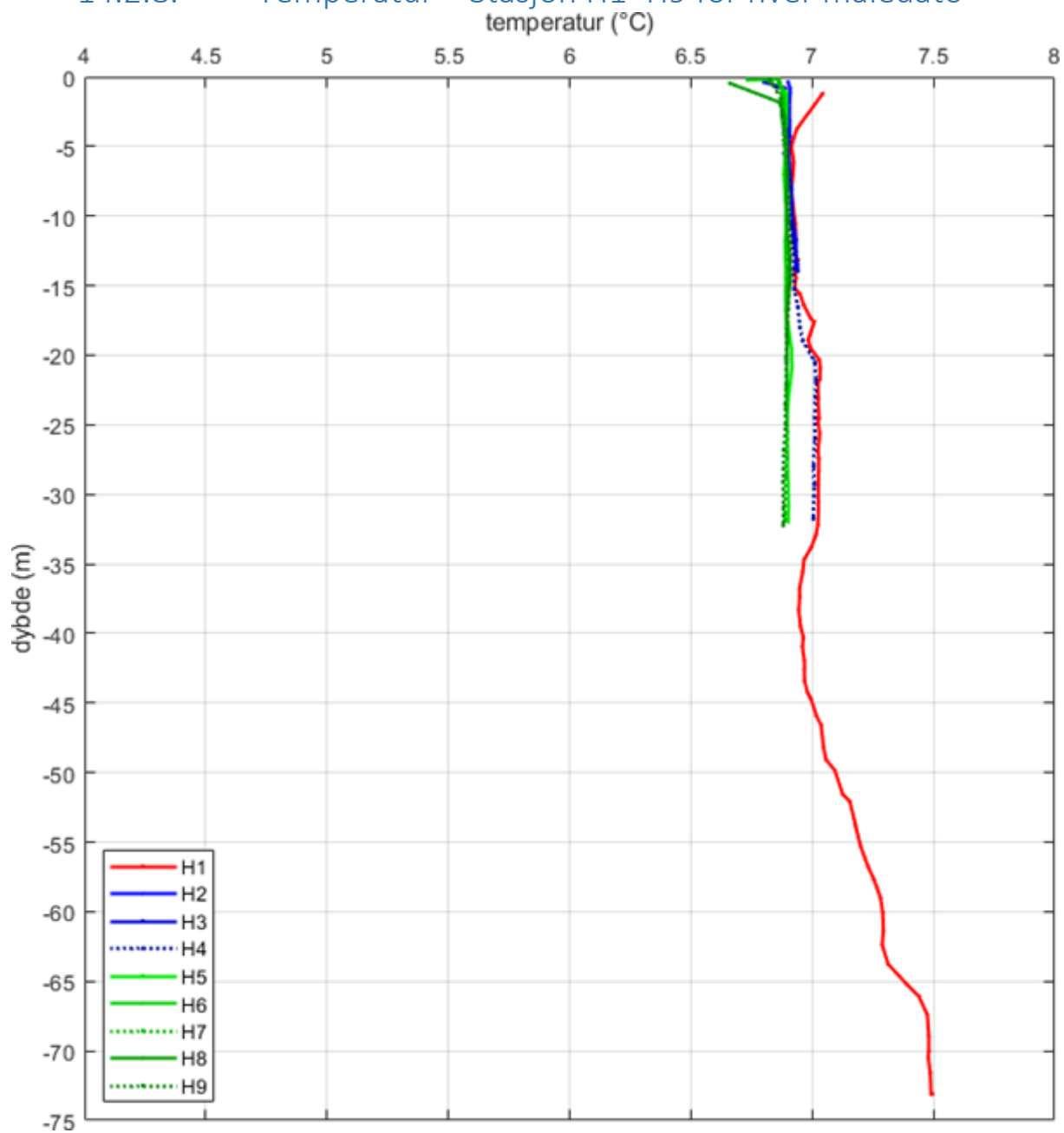


Figur 14.33: Salinitet (‰) i stasjon H1 og H5–H9 målt 29.07.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke utført målinger i stasjon H2–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

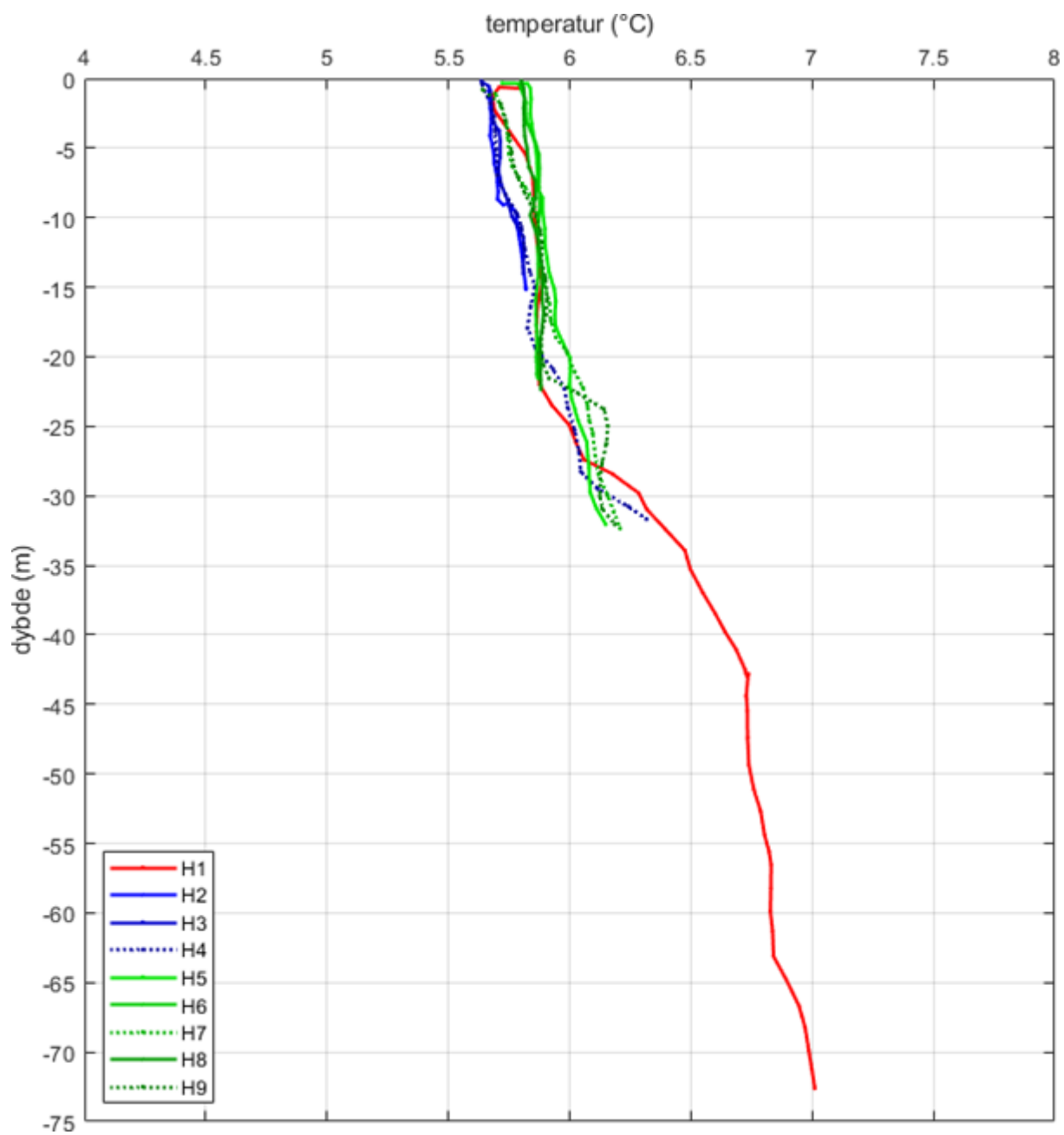


Figur 14.34: Salinitet (‰) i stasjon H1 og H5–H9 målt 21.08.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke utført målinger i stasjon H2–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

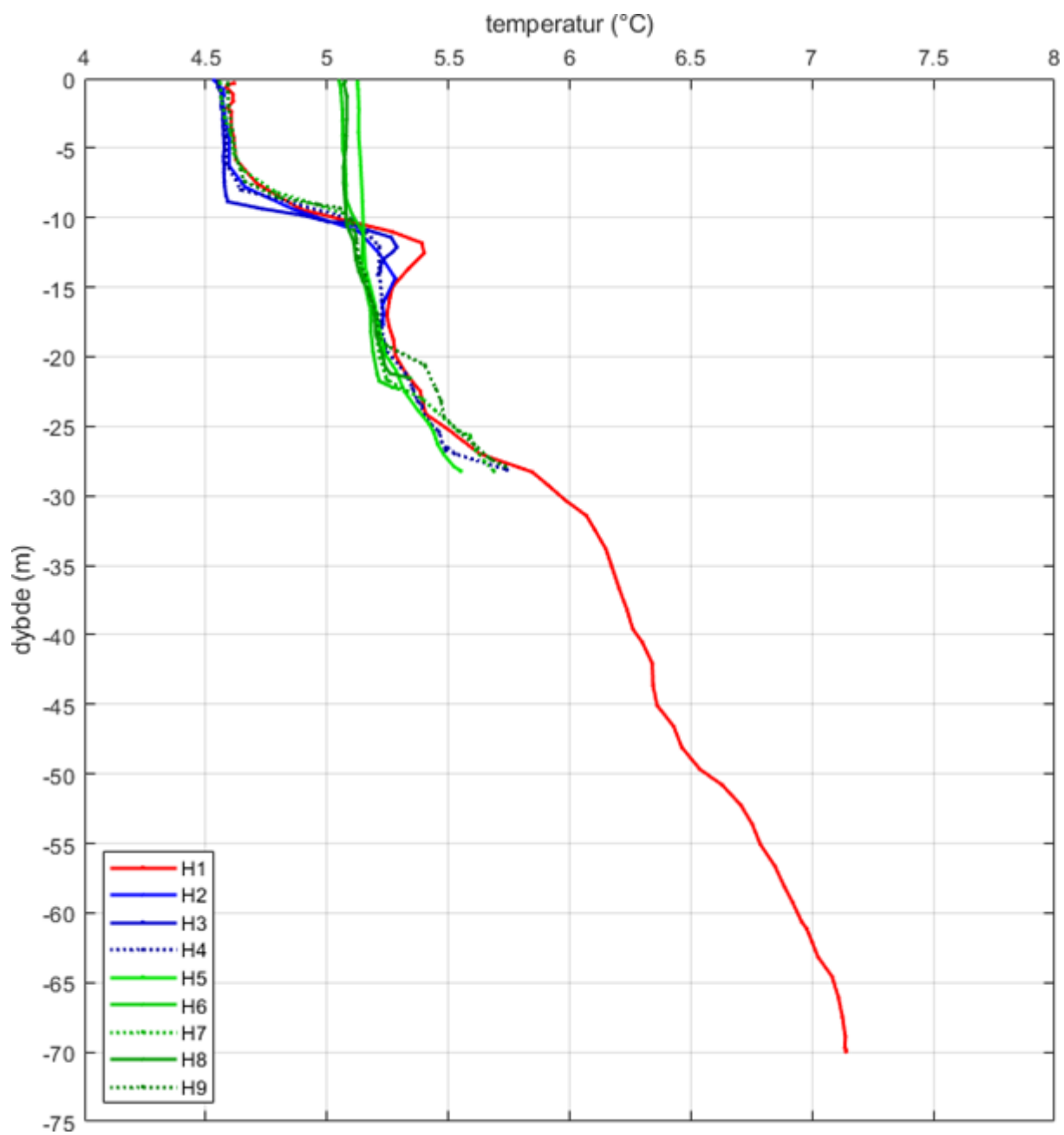
14.2.8. Temperatur – Stasjon H1–H9 for hver måledato



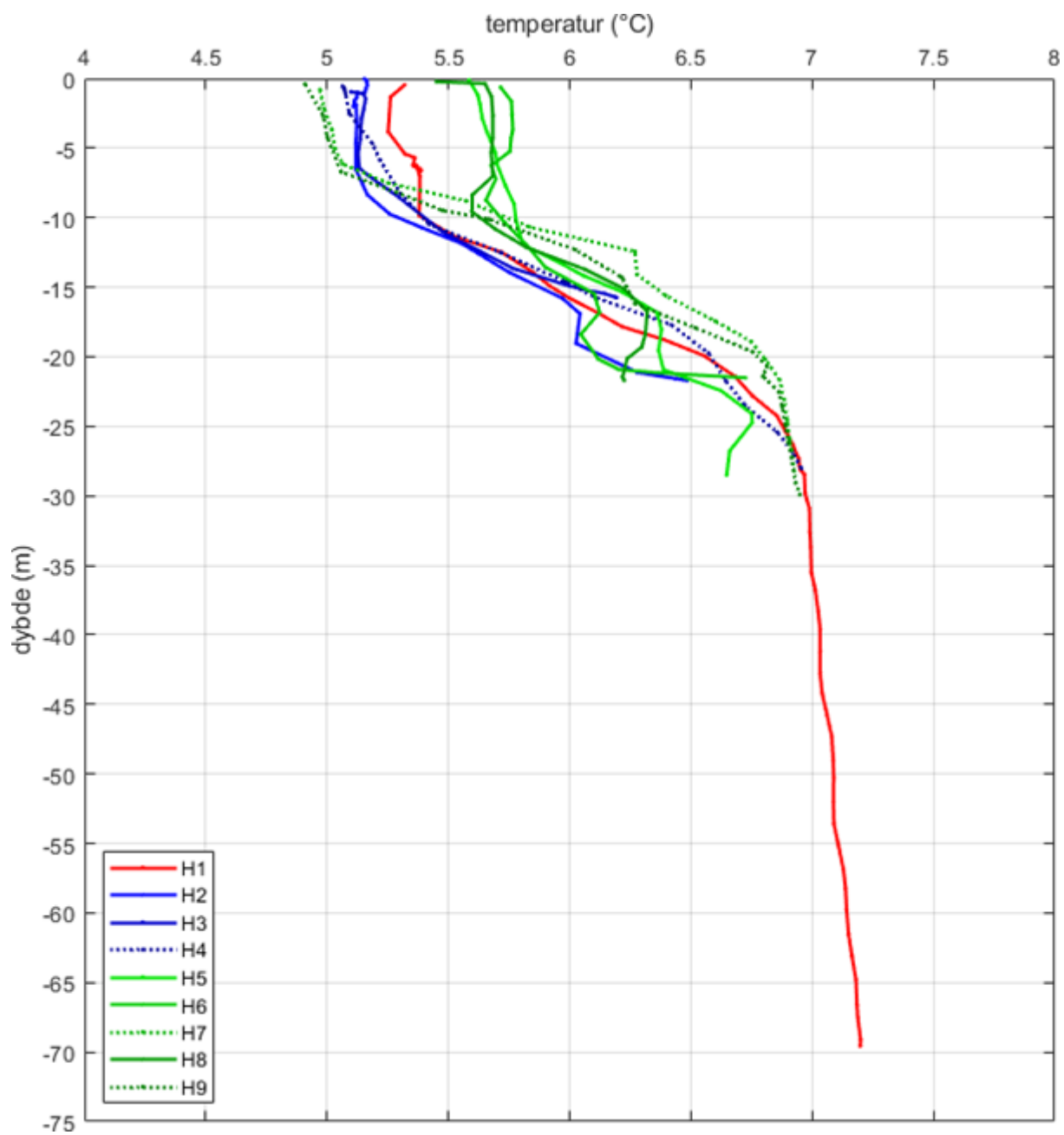
Figur 14.35: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 12.12.2019 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



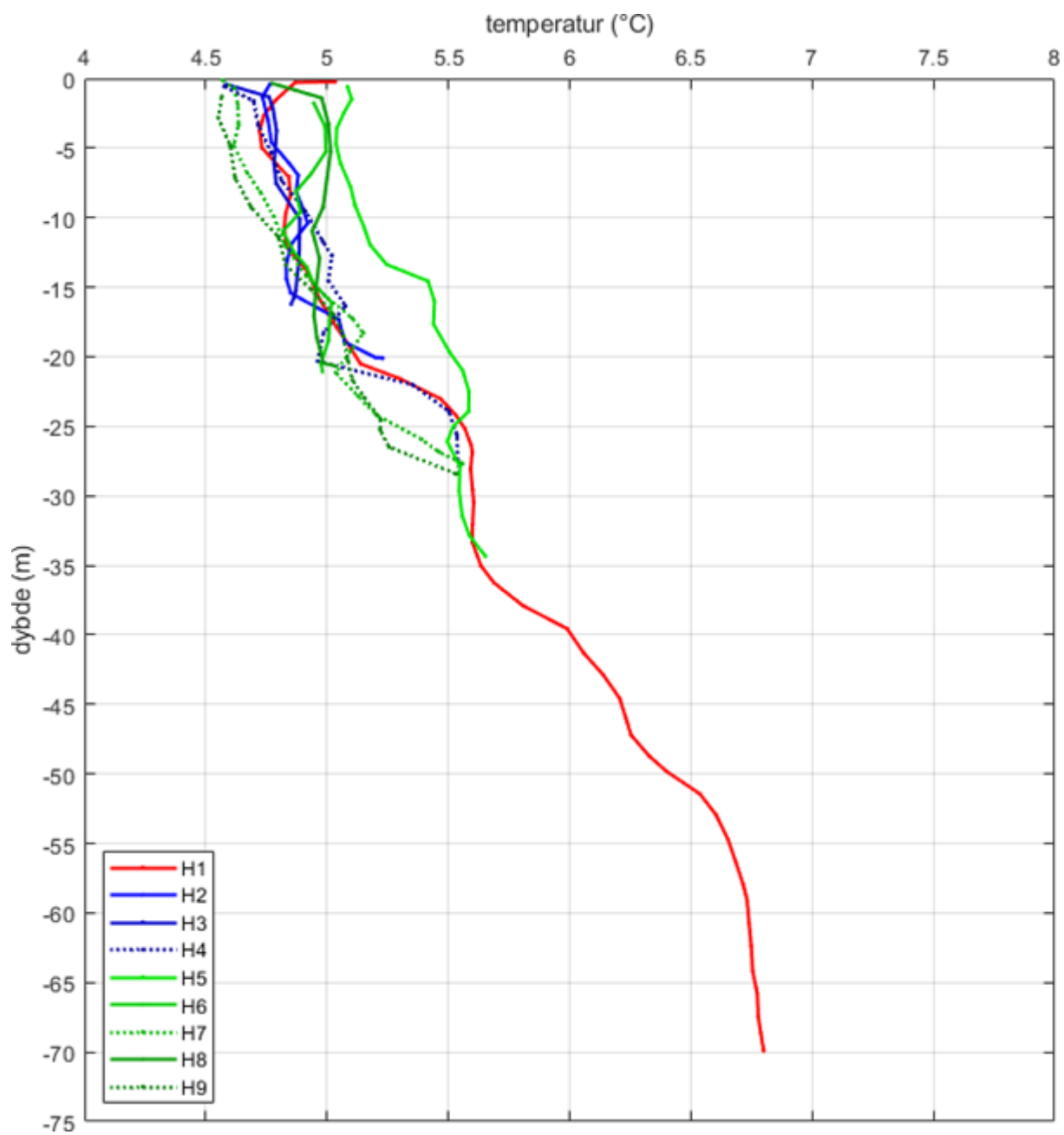
Figur 14.36: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 15.01.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



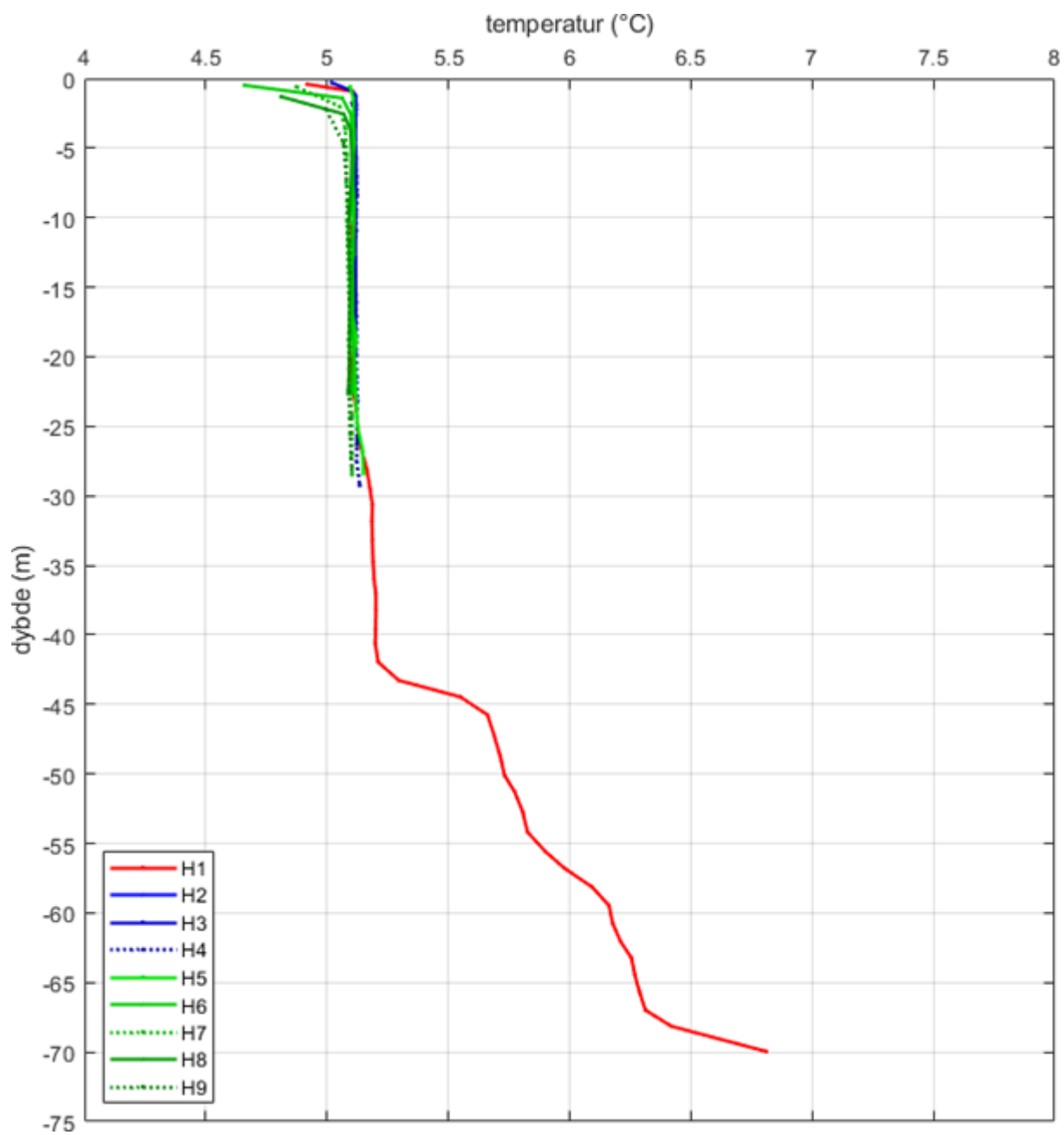
Figur 14.37: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 28.02.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. (Denne figuren er også presentert som figur 9.5, venstre.)



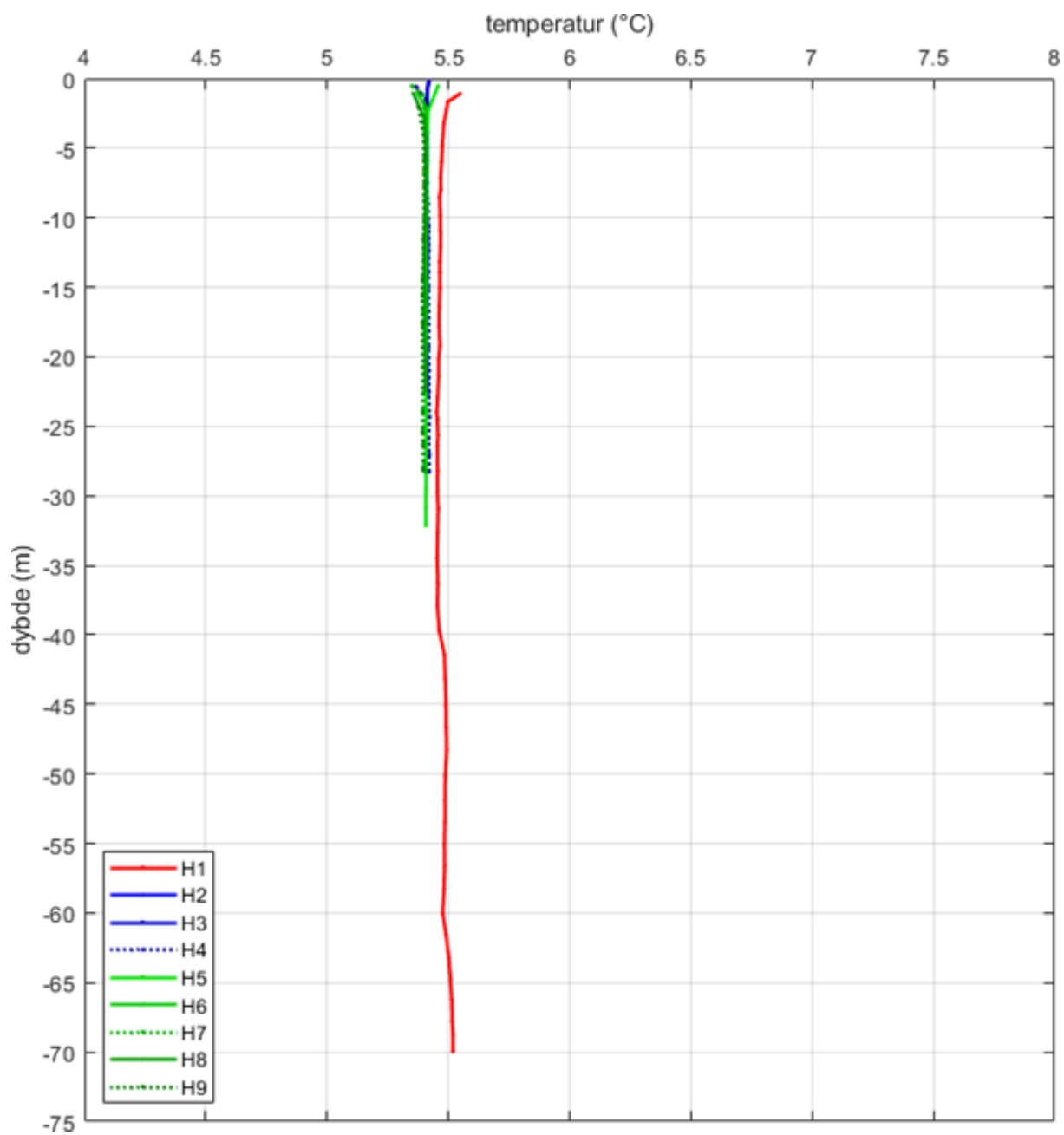
Figur 14.38: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 11.02.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



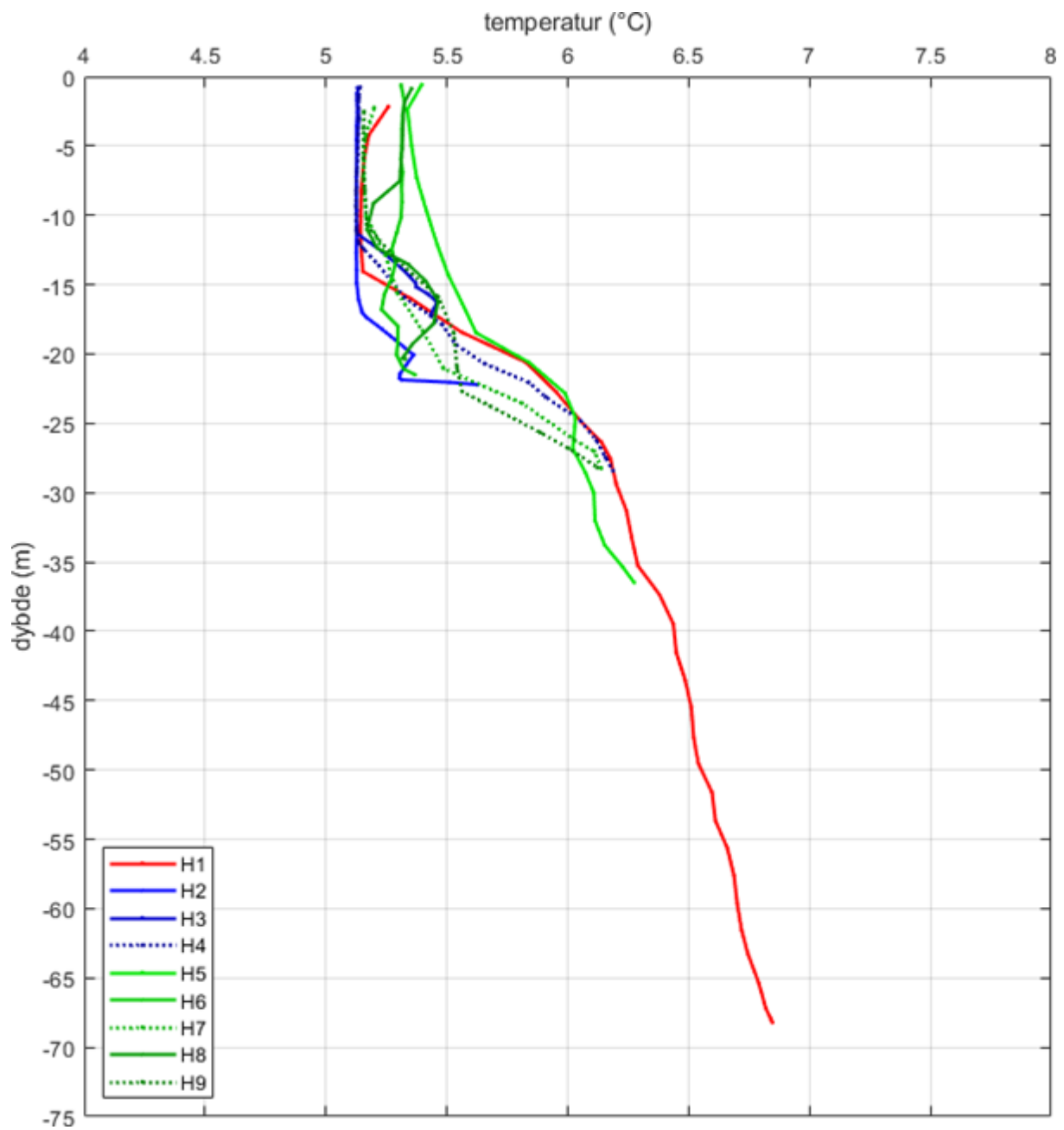
Figur 14.39: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 06.03.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



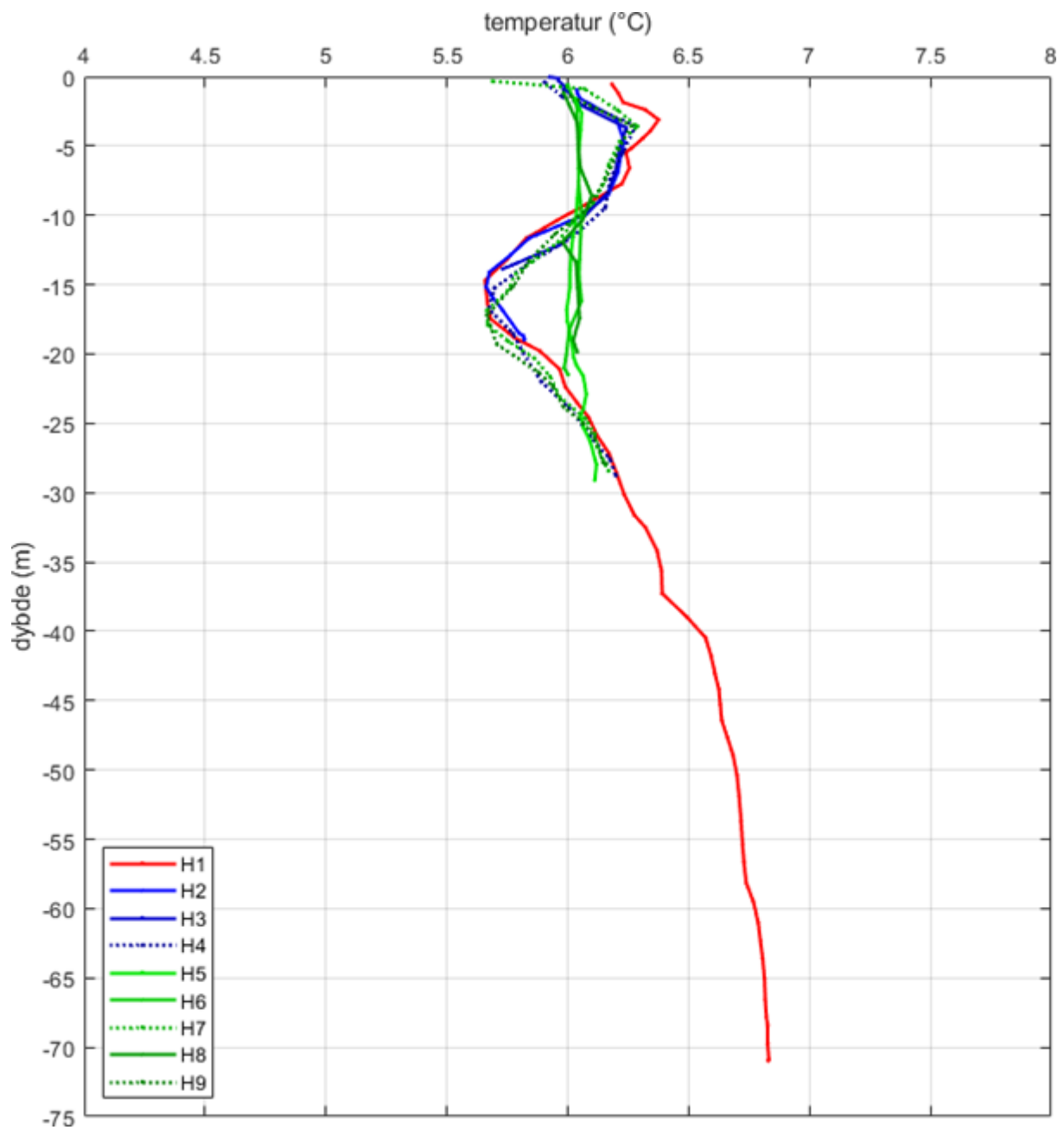
Figur 14.40: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 20.03.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



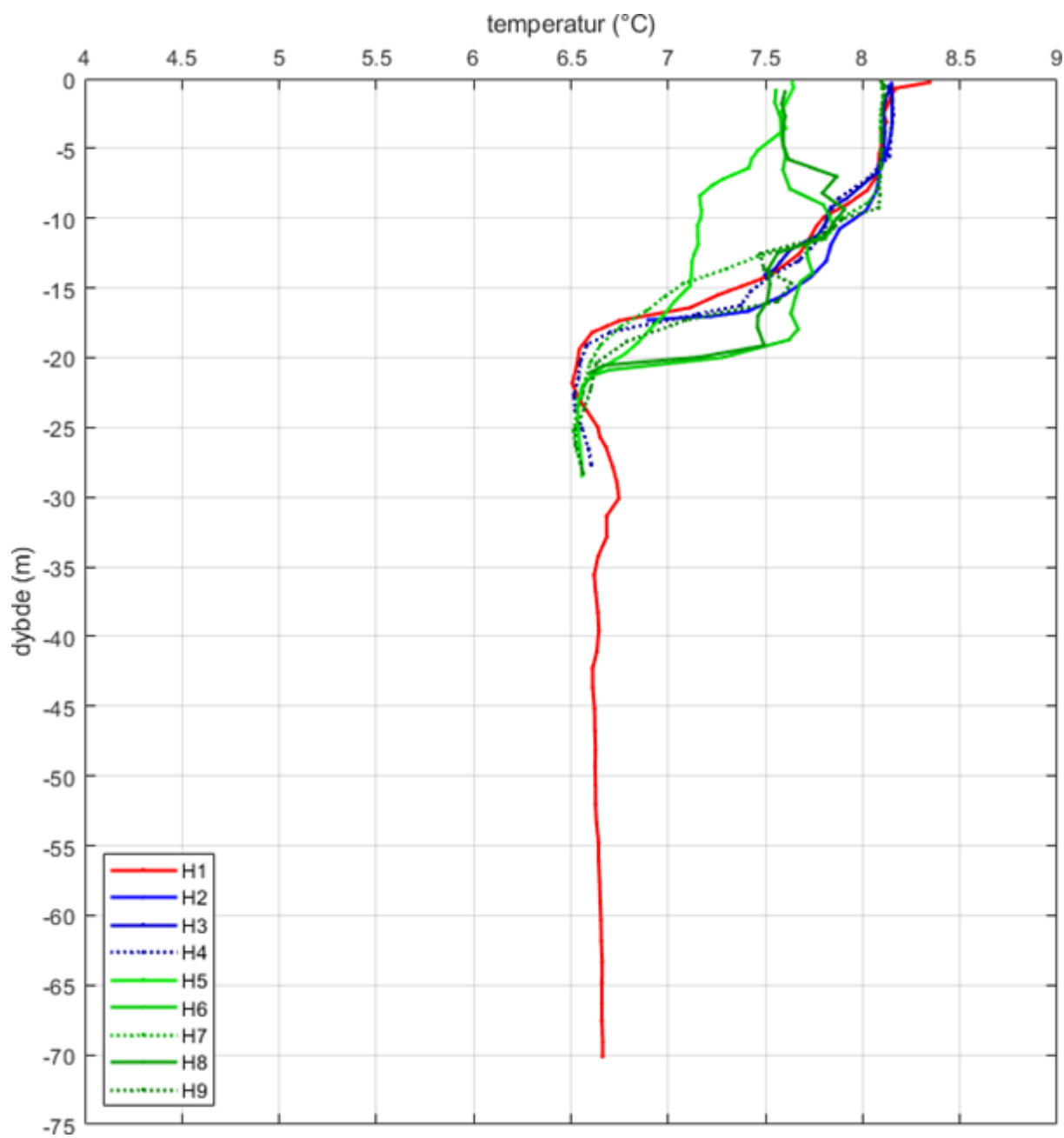
Figur 14.41: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 26.03.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



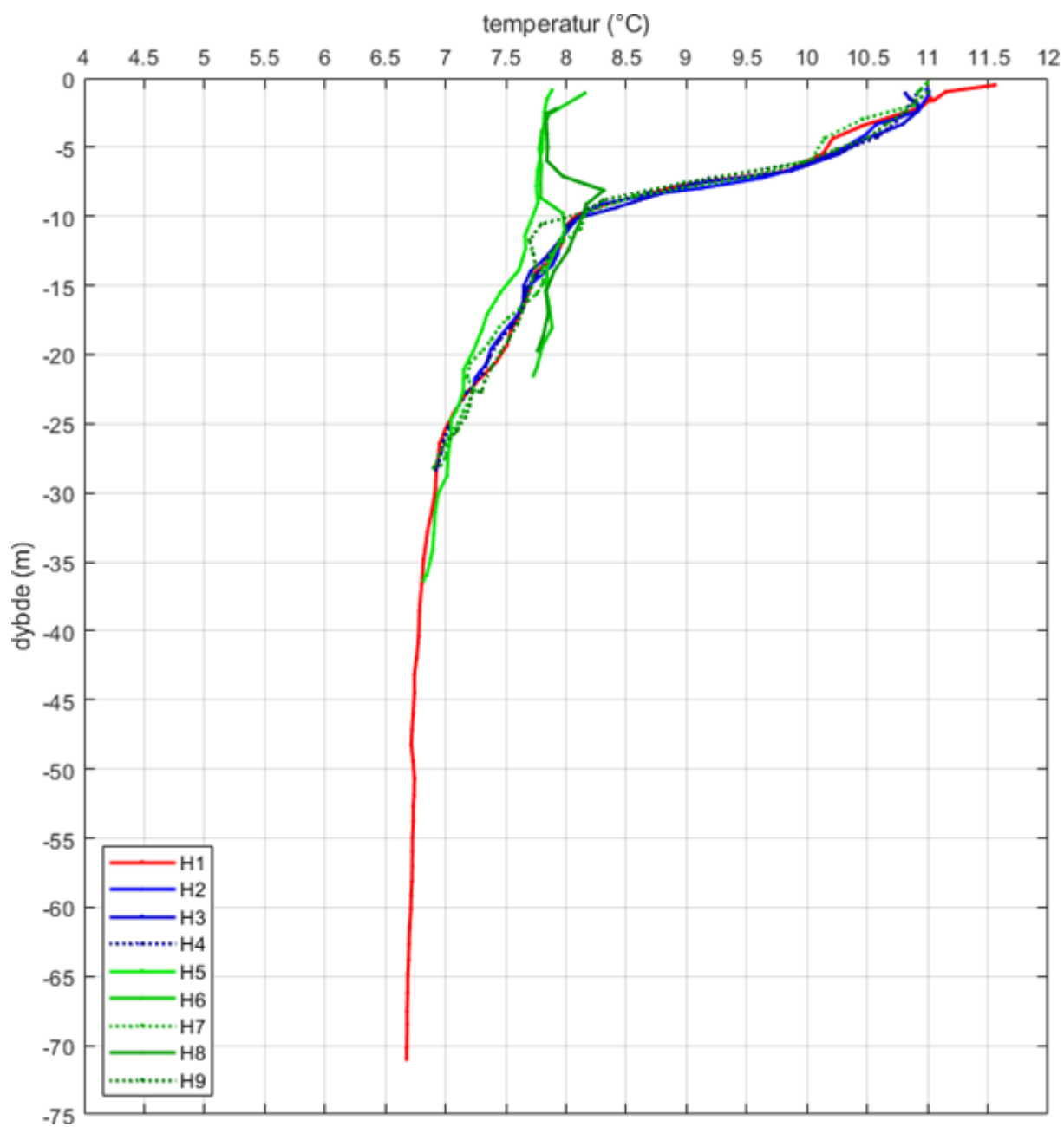
Figur 14.42: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 15.04.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



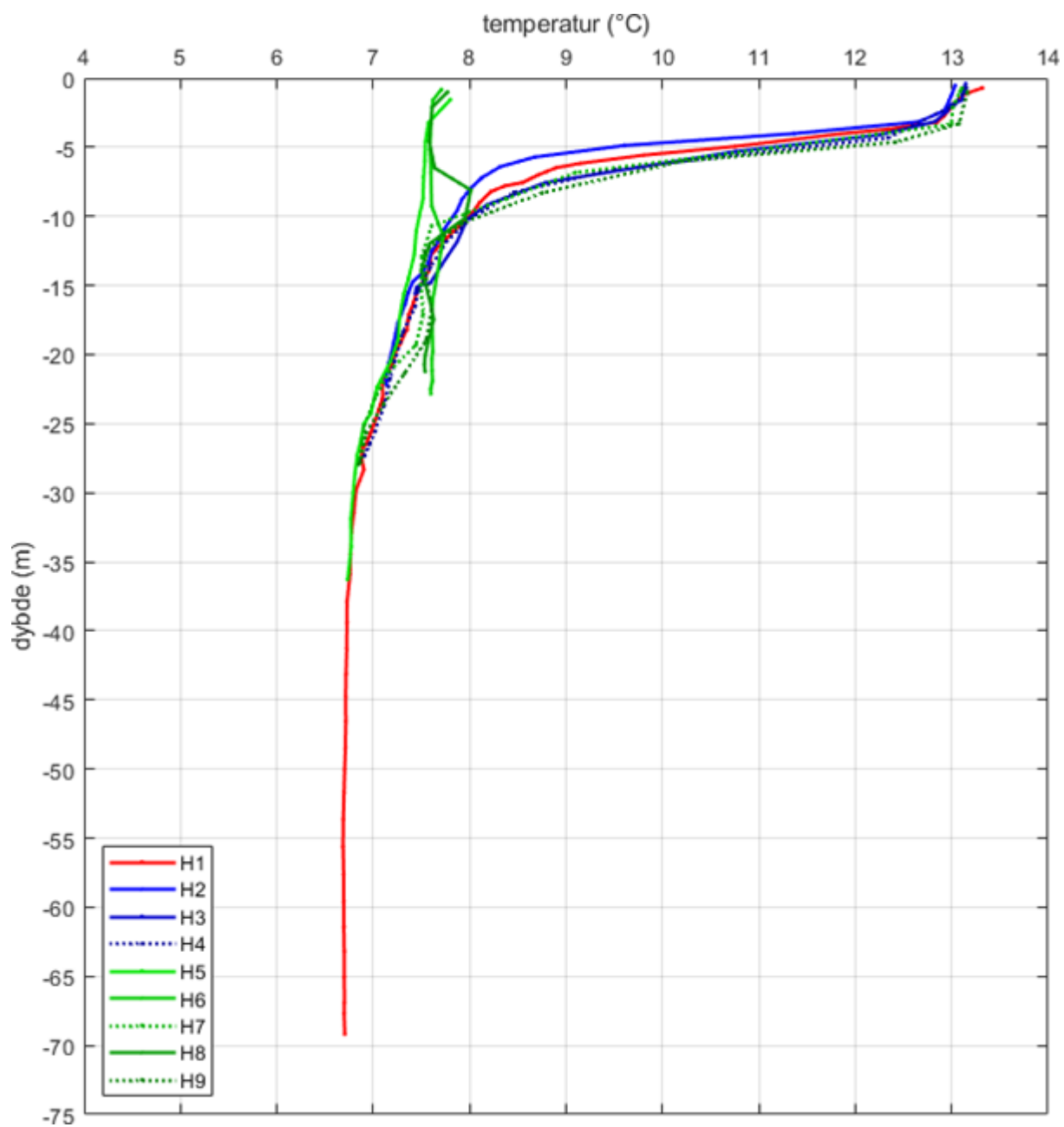
Figur 14.43: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 28.04.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



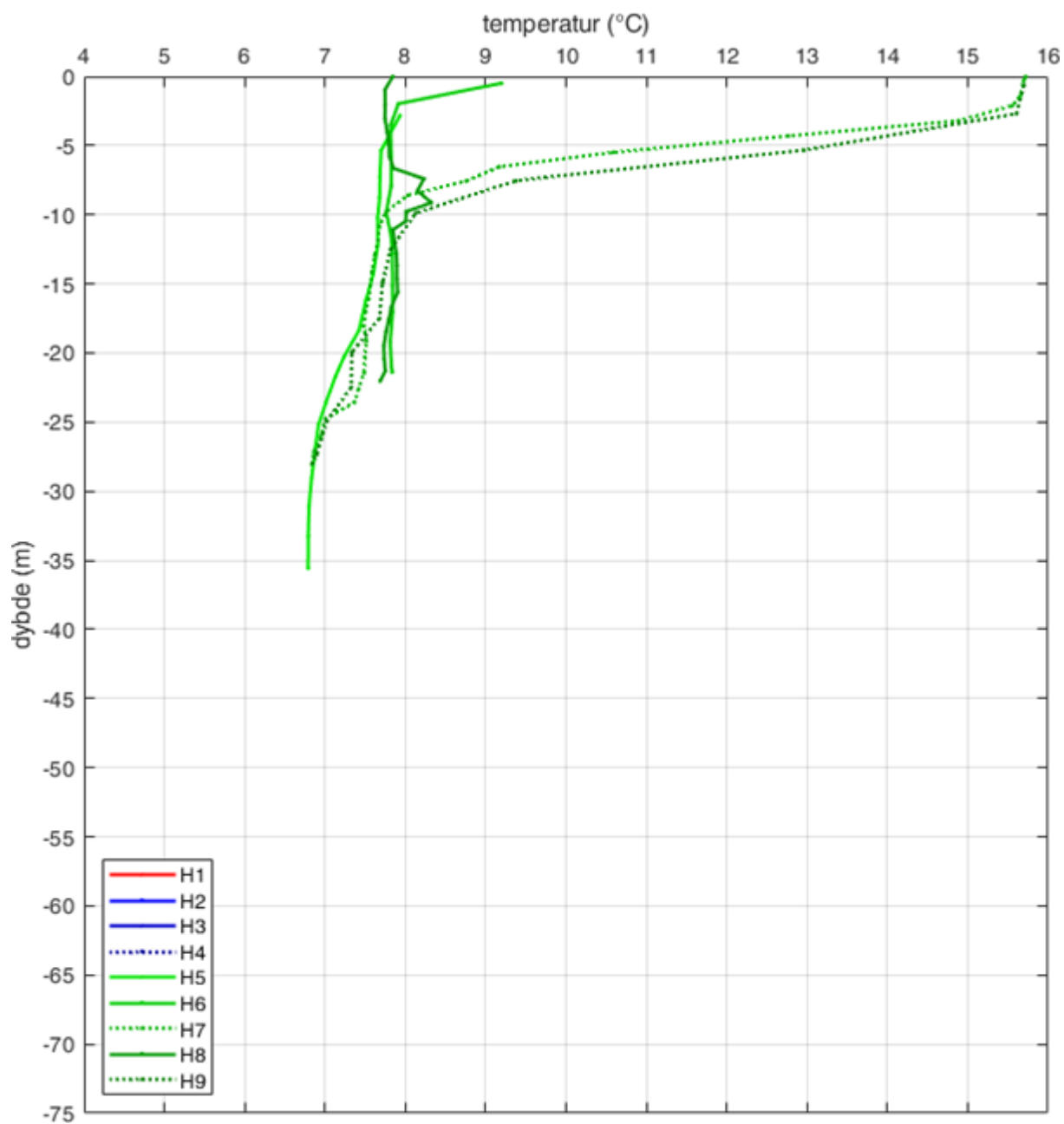
Figur 14.44: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 29.05.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



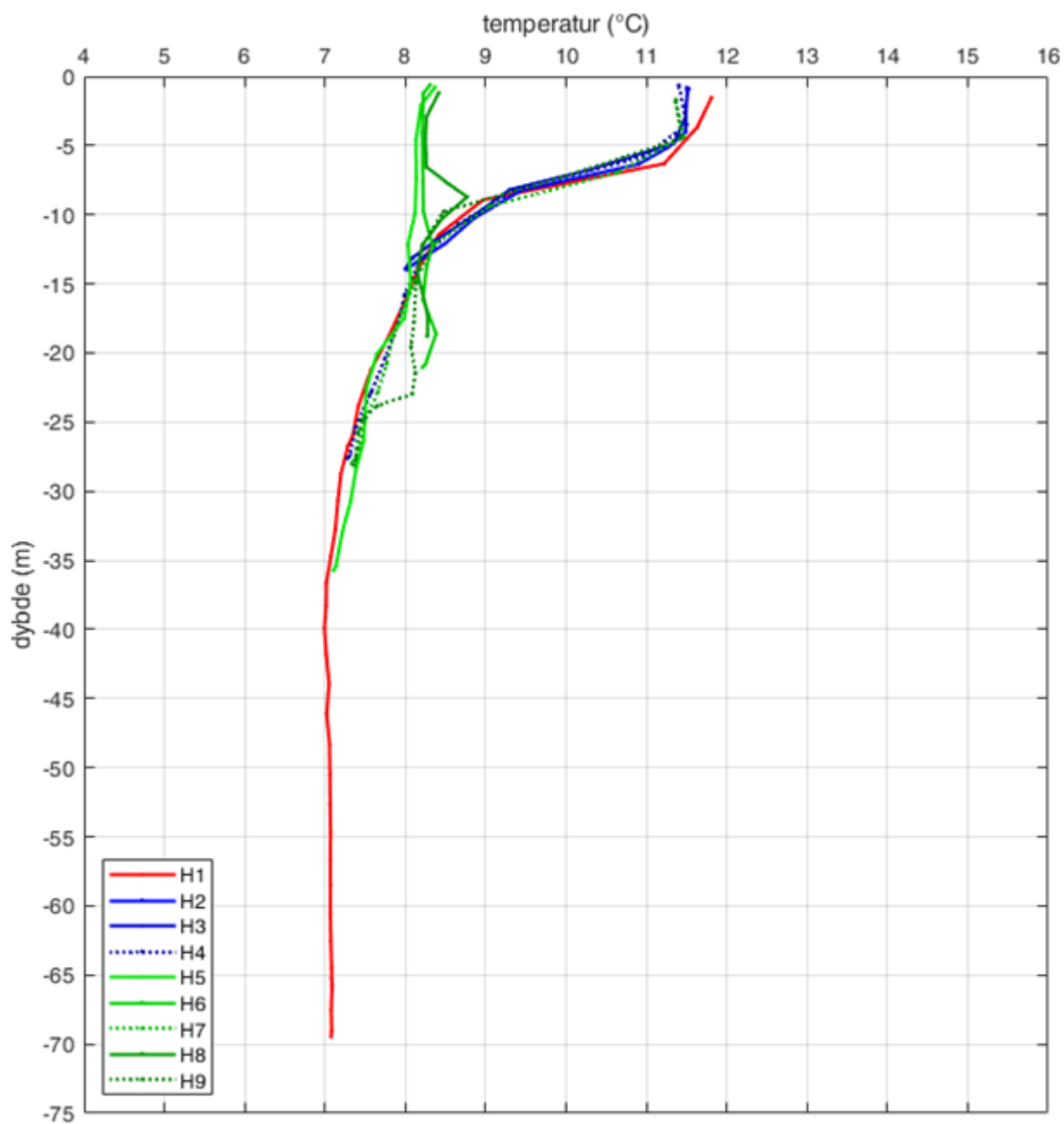
Figur 14.45: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 12.06.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



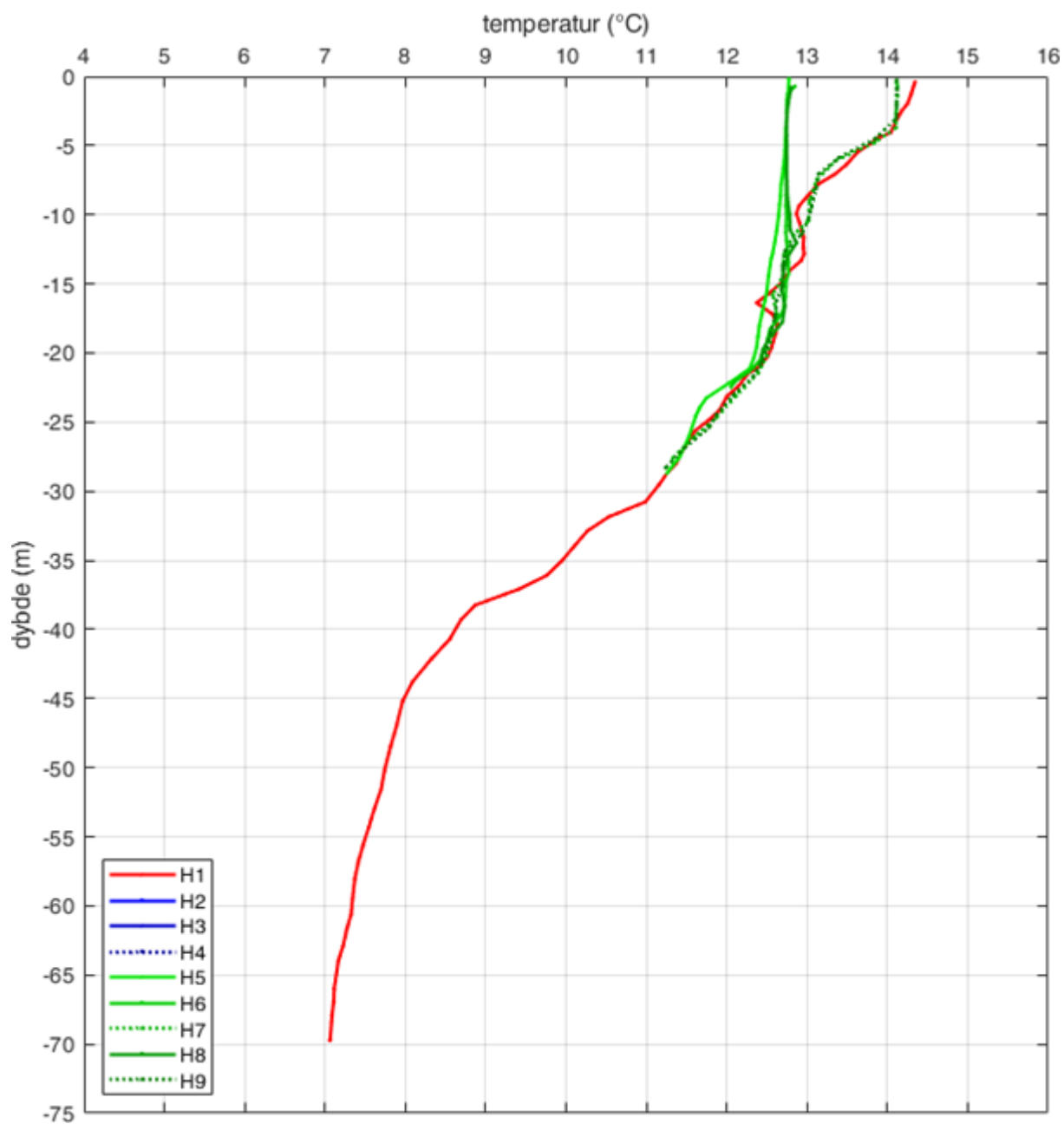
Figur 14.46: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 16.06.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. (Denne figuren er også presentert som figur 9.5, høyre.)



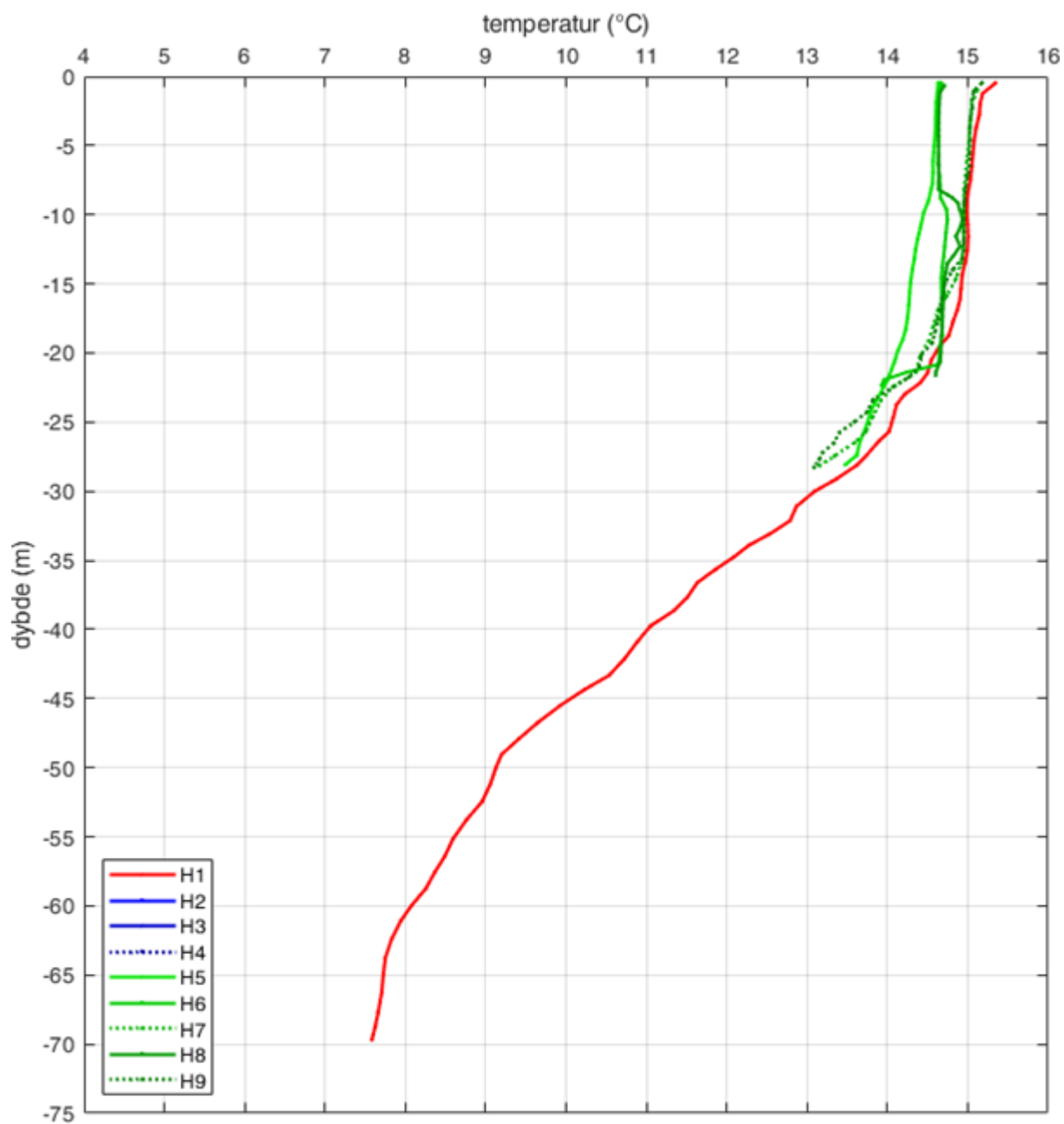
Figur 14.47: Temperatur (°C) i stasjon H5–H9 målt 23.06.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke utført målinger i stasjon H1–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



Figur 14.48: Temperatur (°C) i stasjon H1–H9 målt 08.07.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

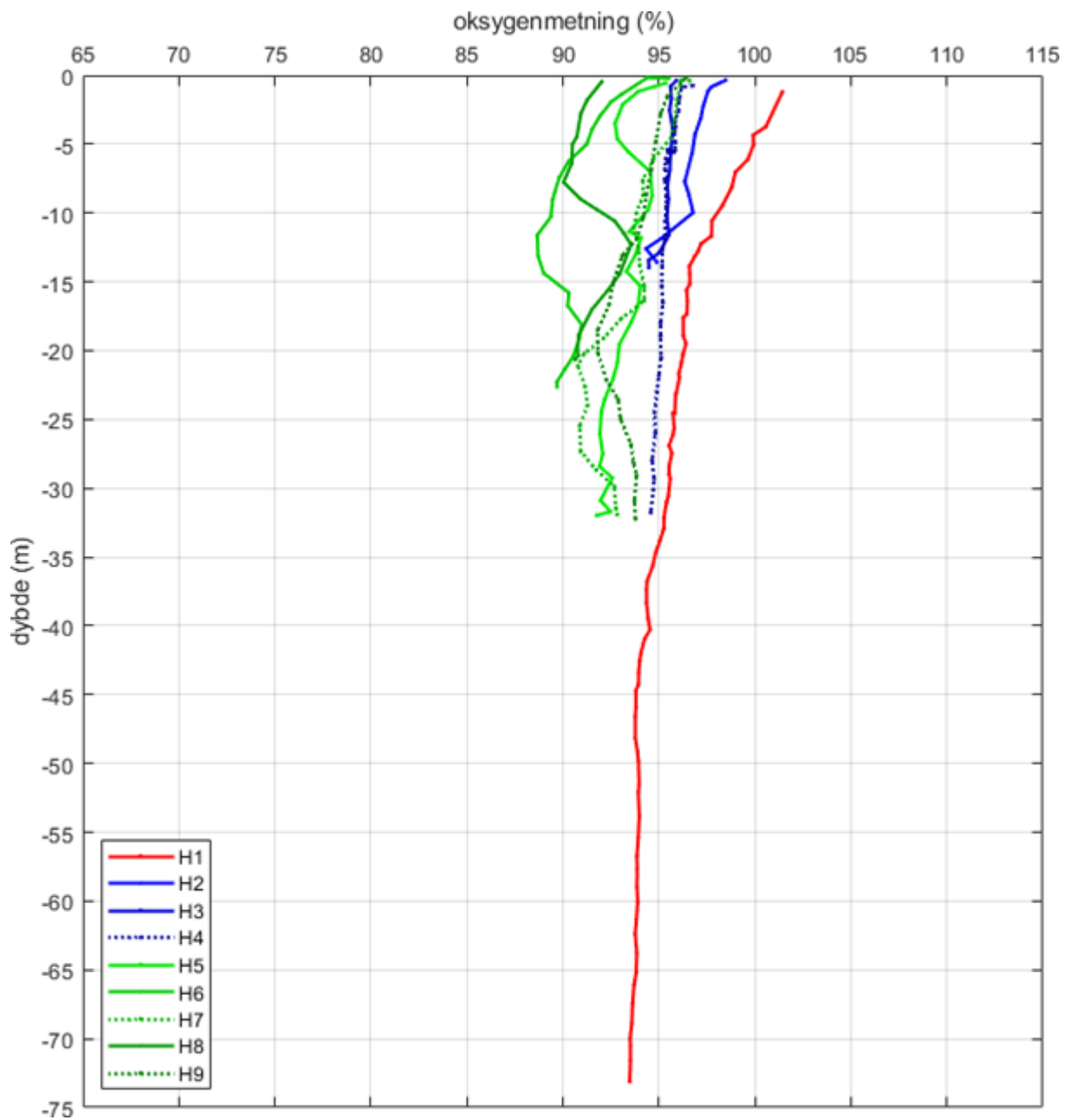


Figur 14.49: Temperatur (°C) i stasjon H1 og H5–H9 målt 29.07.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke utført målinger i stasjon H2–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

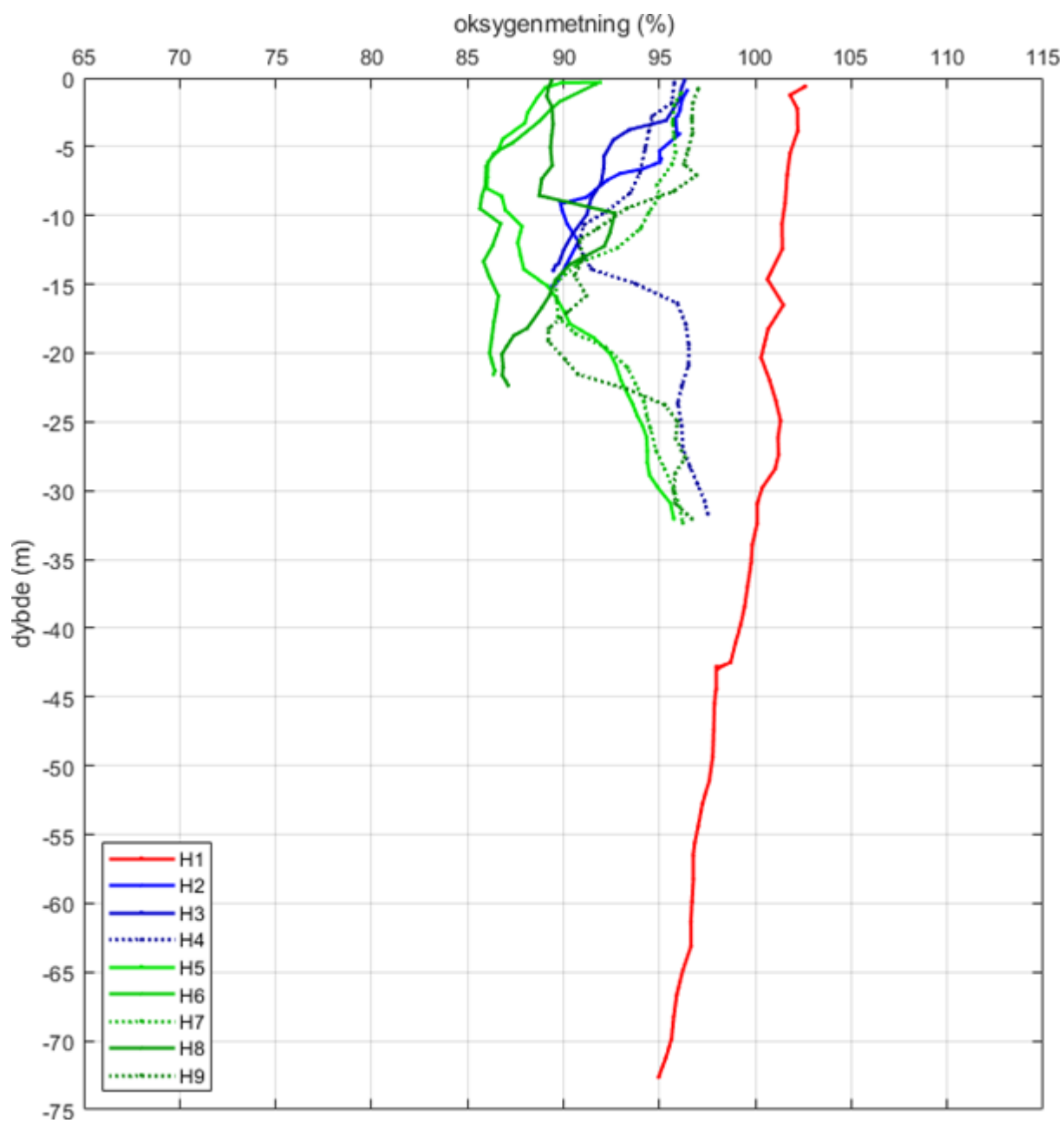


Figur 14.50: Temperatur (°C) i stasjon H1 og H5–H9 målt 21.08.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke utført målinger i stasjon H2–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.

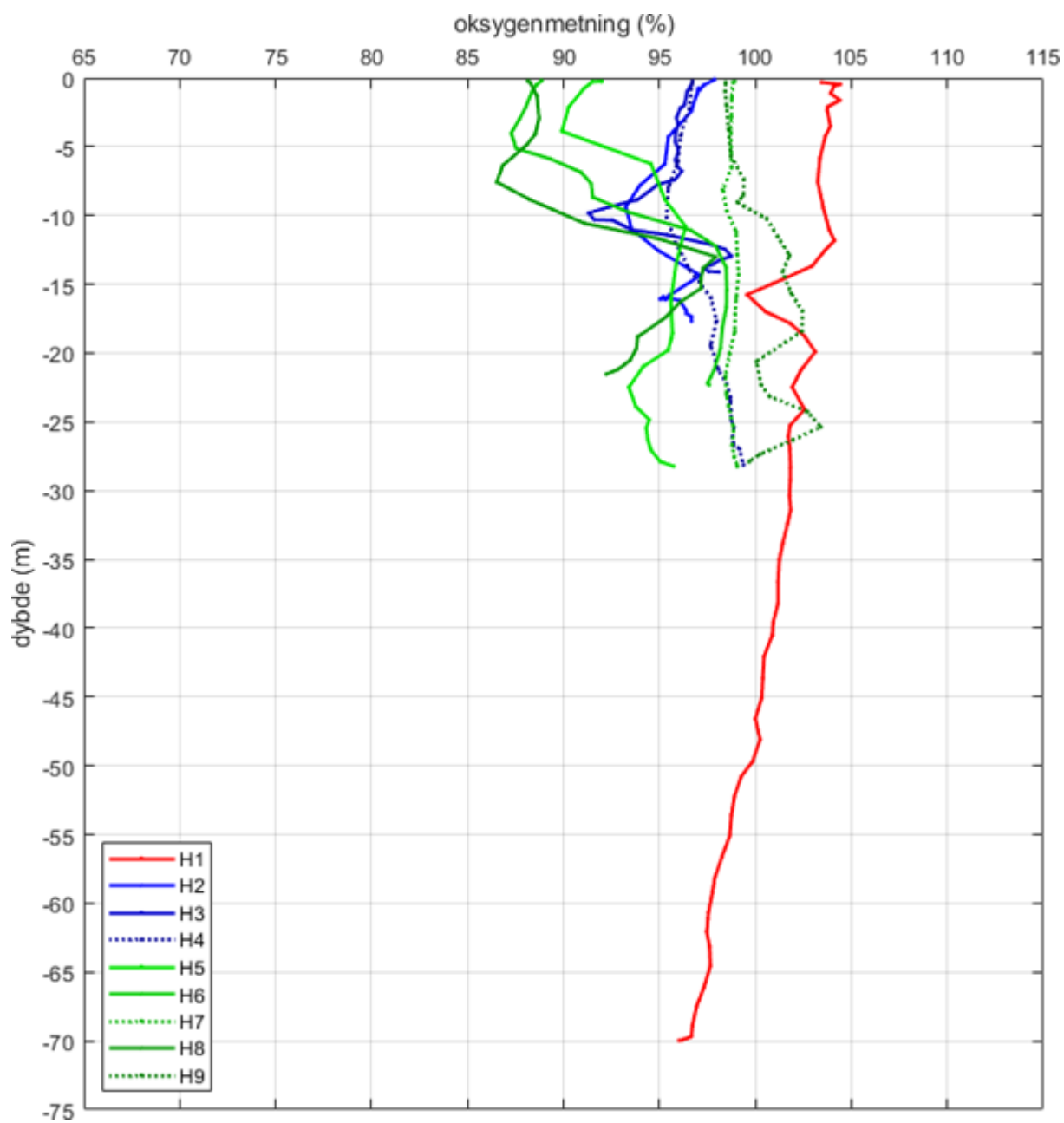
14.2.9. Oksygenmetning – Stasjon H1–H9 for hver måledato



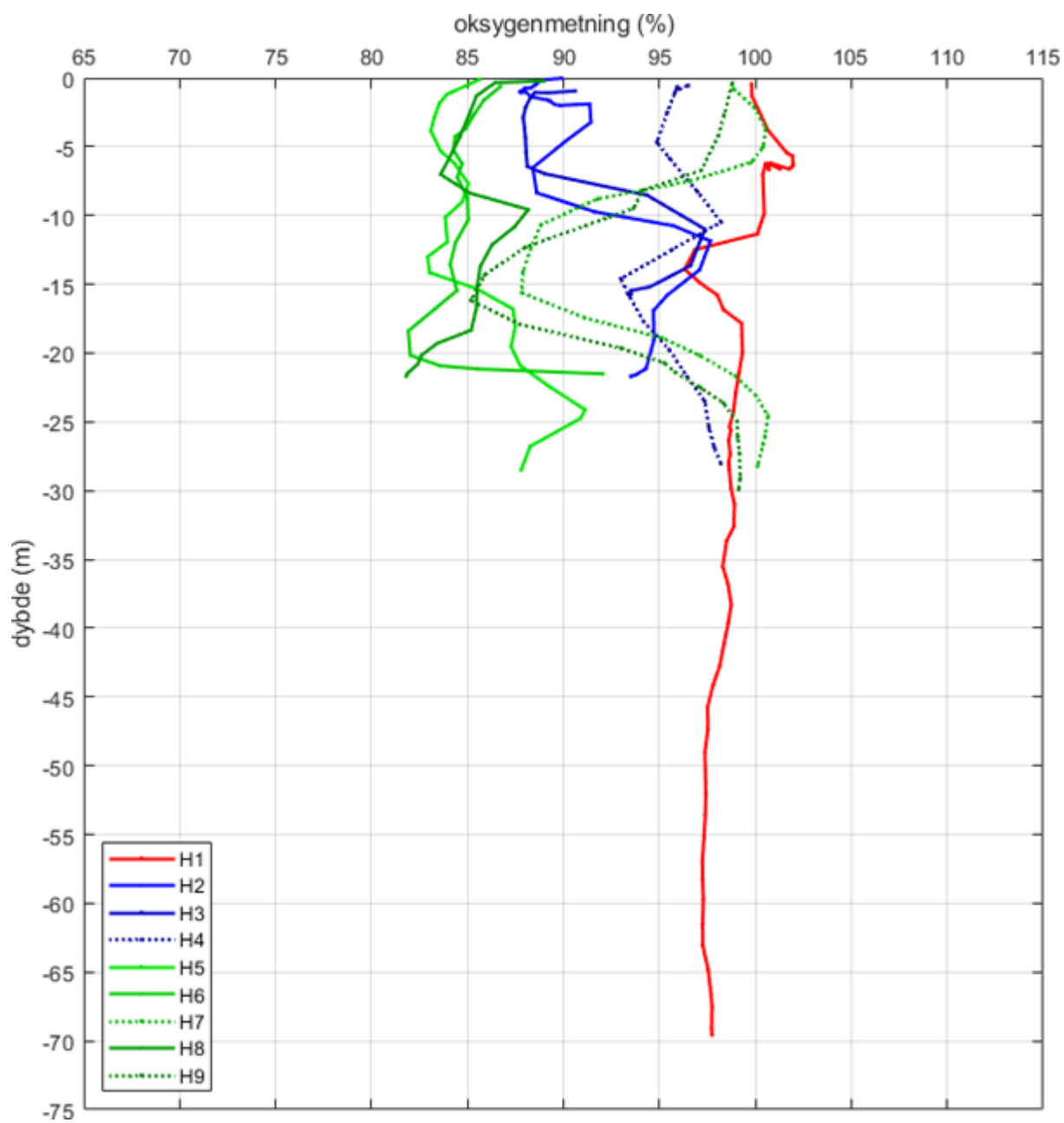
Figur 14.51: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 12.12.2019 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



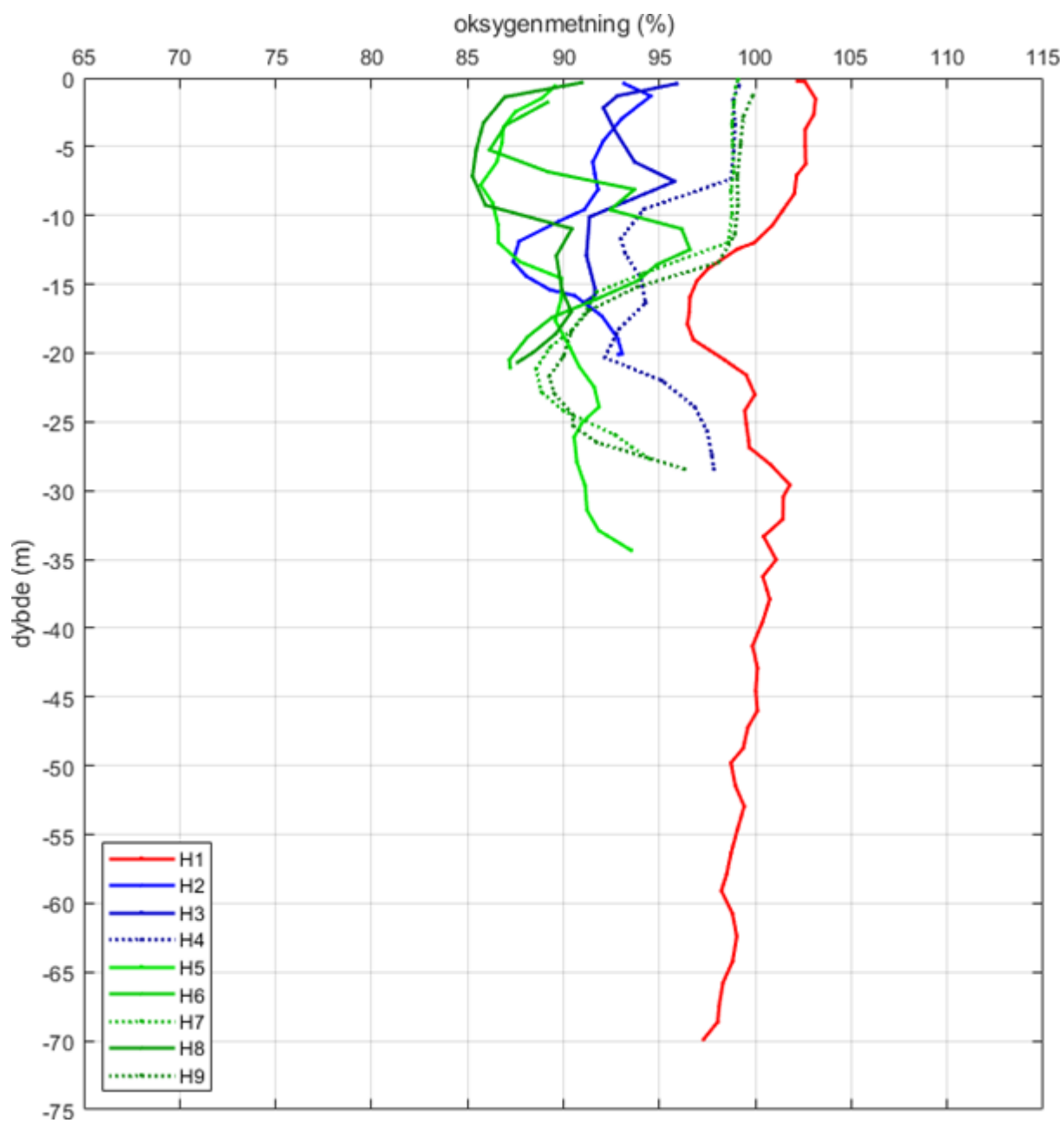
Figur 14.52: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 15.01.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



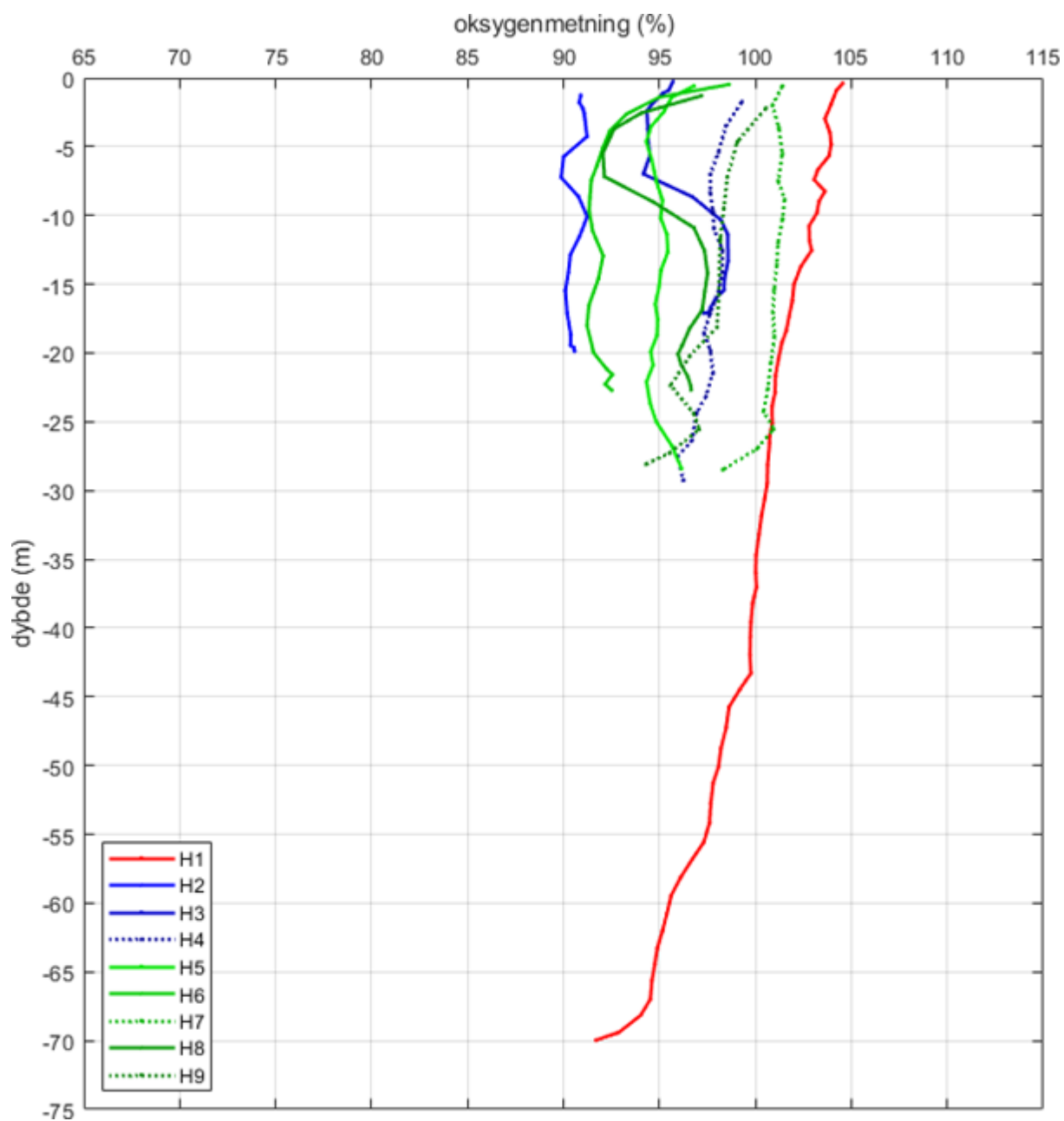
Figur 14.53: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 28.02.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



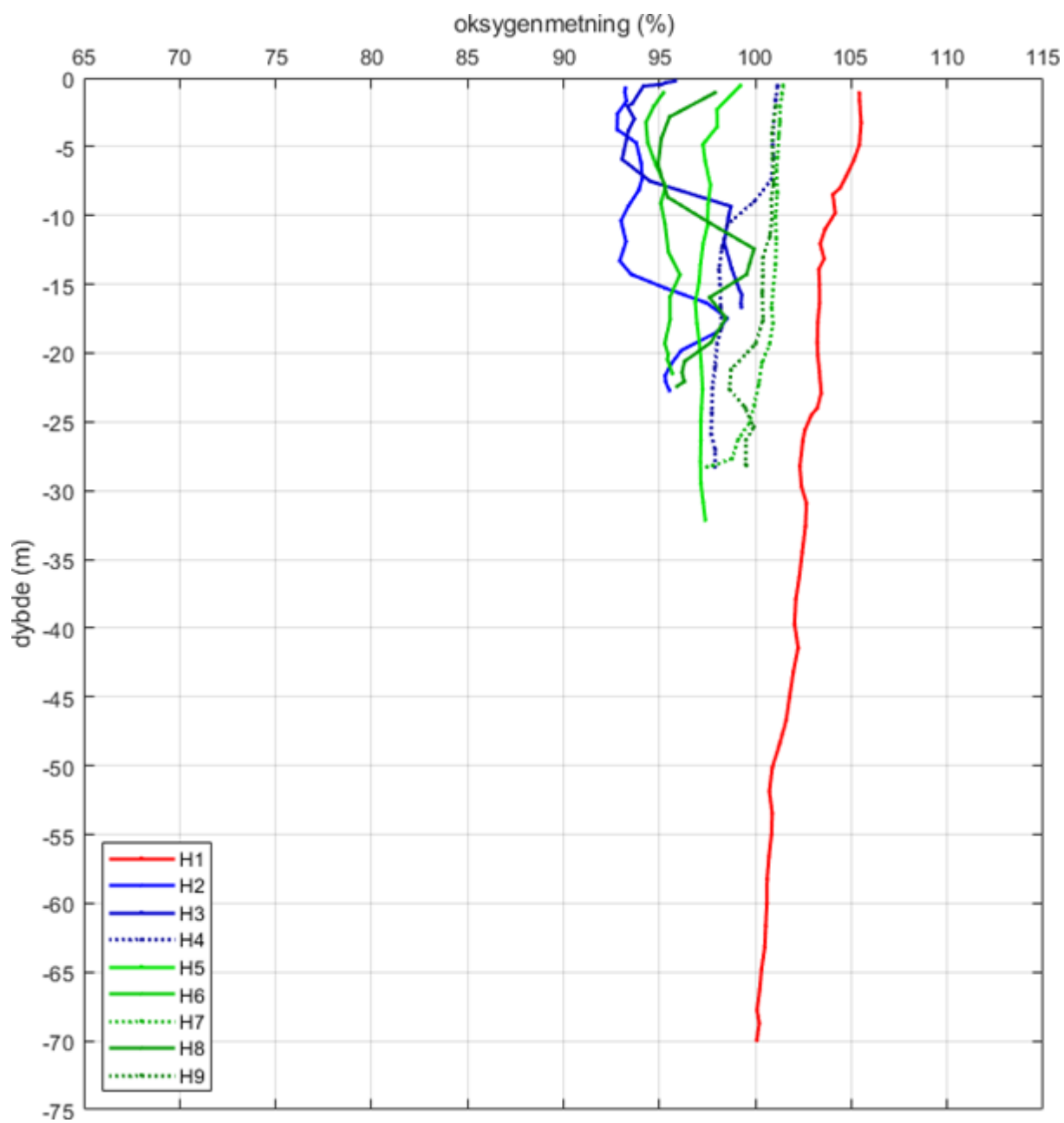
Figur 14.54: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 11.02.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



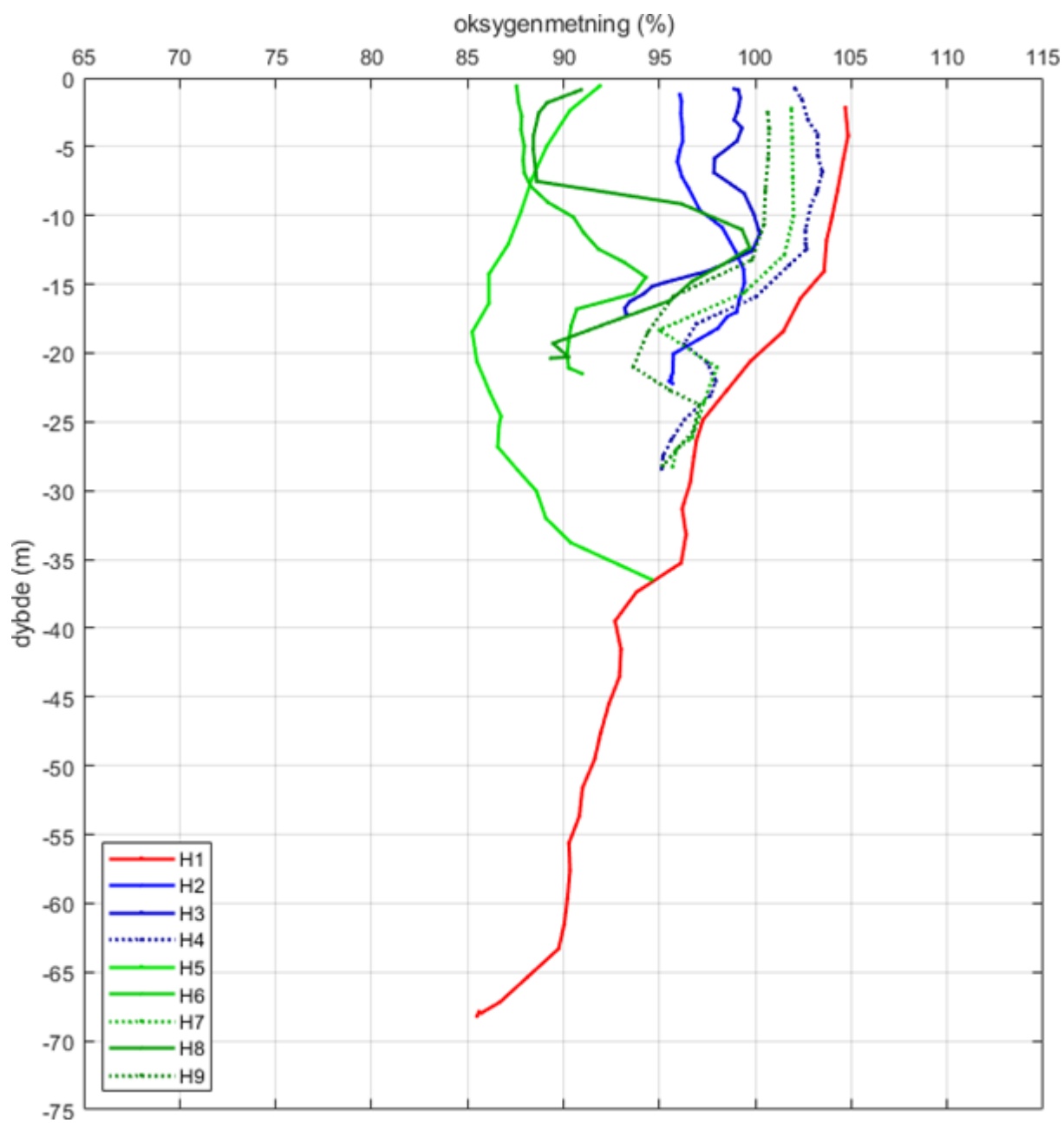
Figur 14.55: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 06.03.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



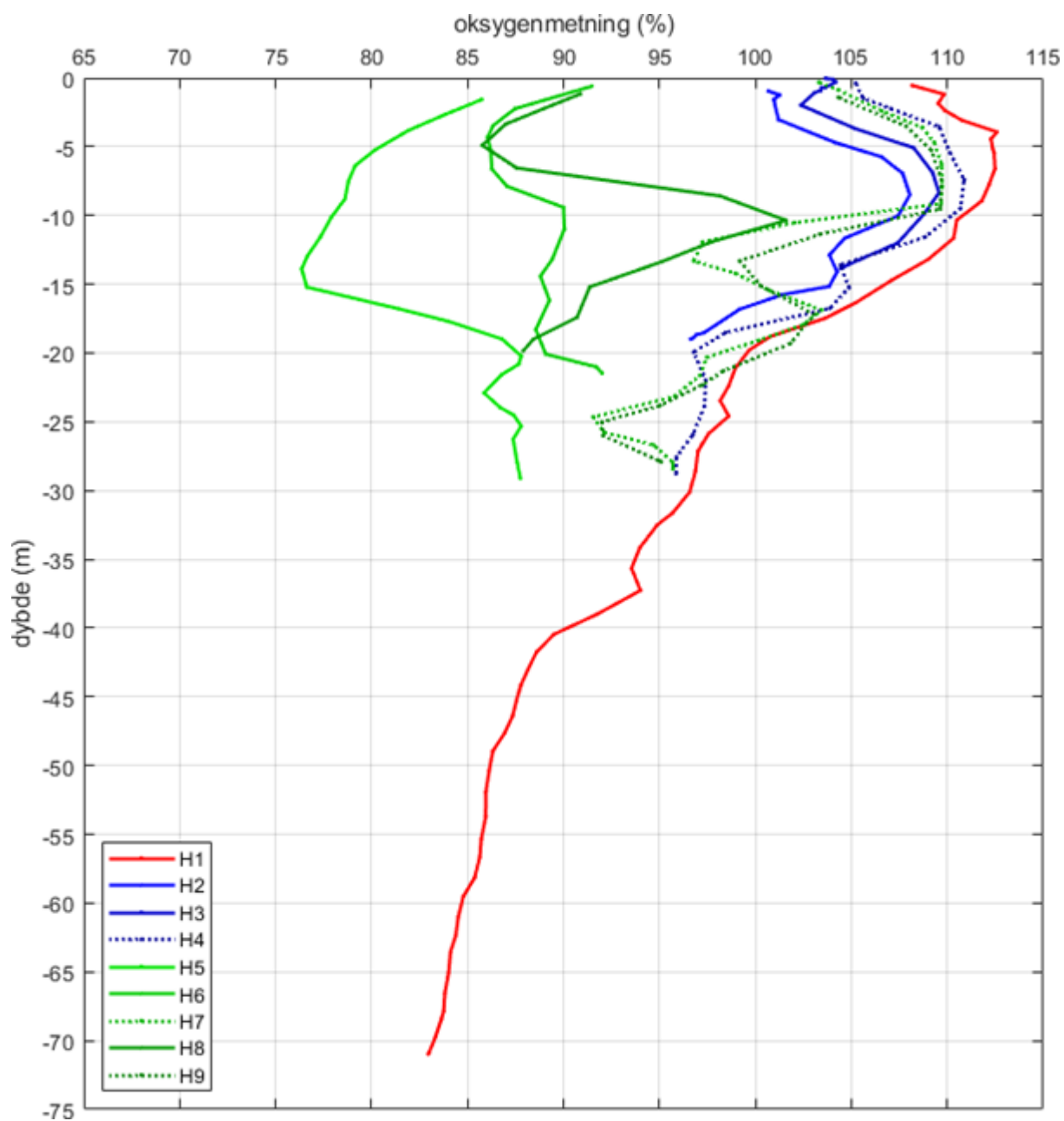
Figur 14.56: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 20.03.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



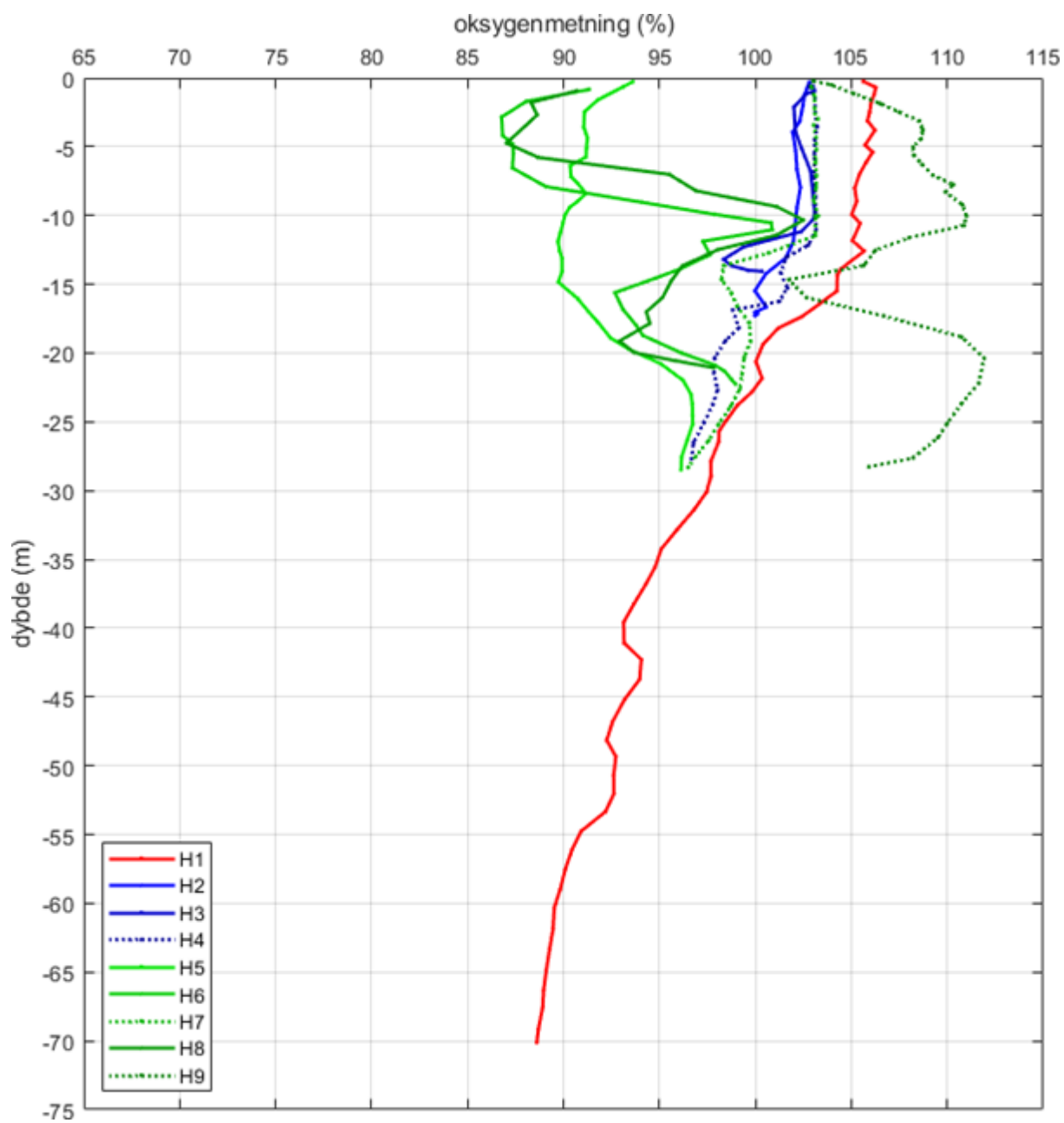
Figur 14.57: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 26.03.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



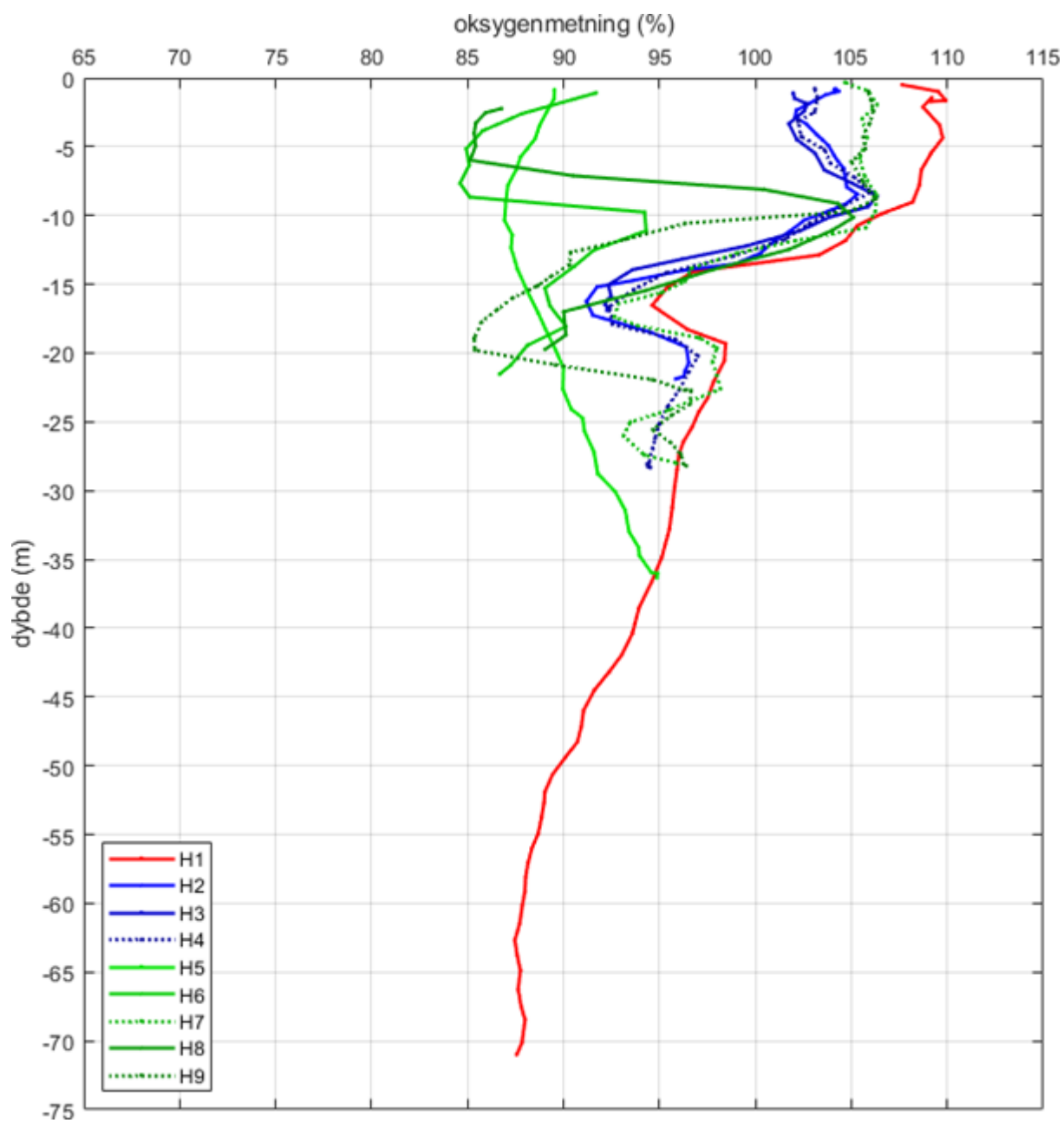
Figur 14.58: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 15.04.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



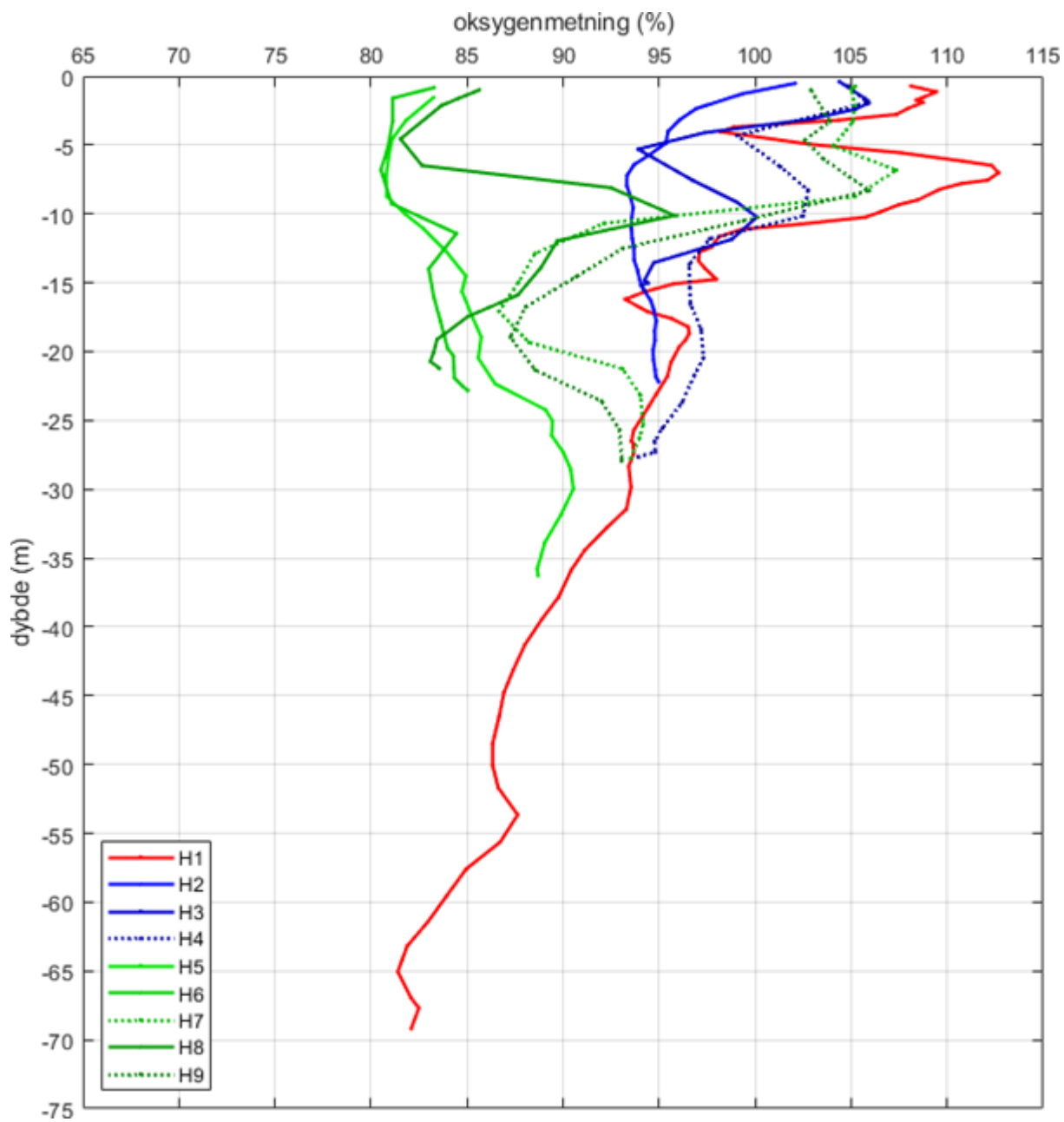
Figur 14.59: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 28.04.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. (Denne figuren er også presentert som figur 9.6, venstre.)



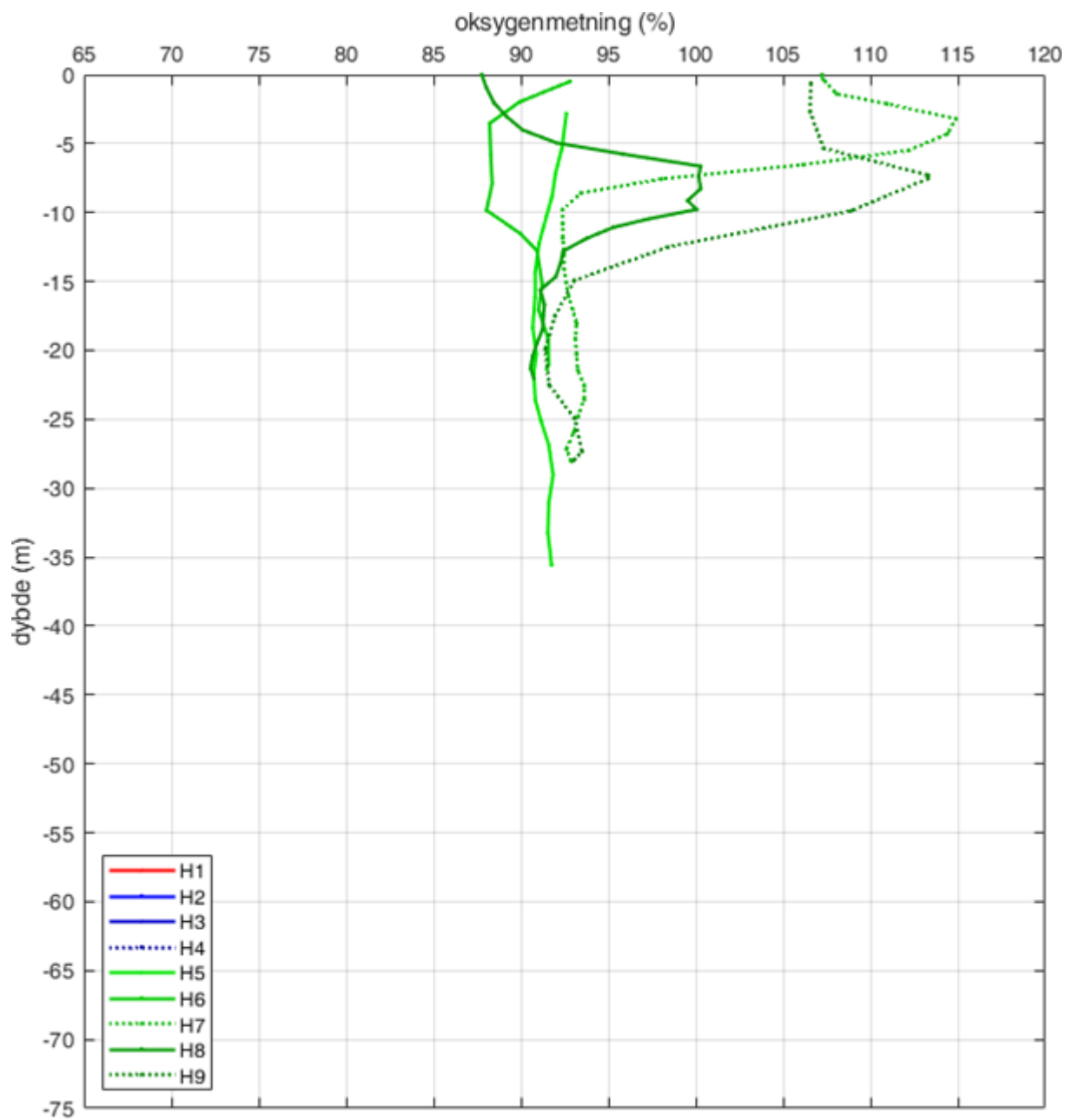
Figur 14.60: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 29.05.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



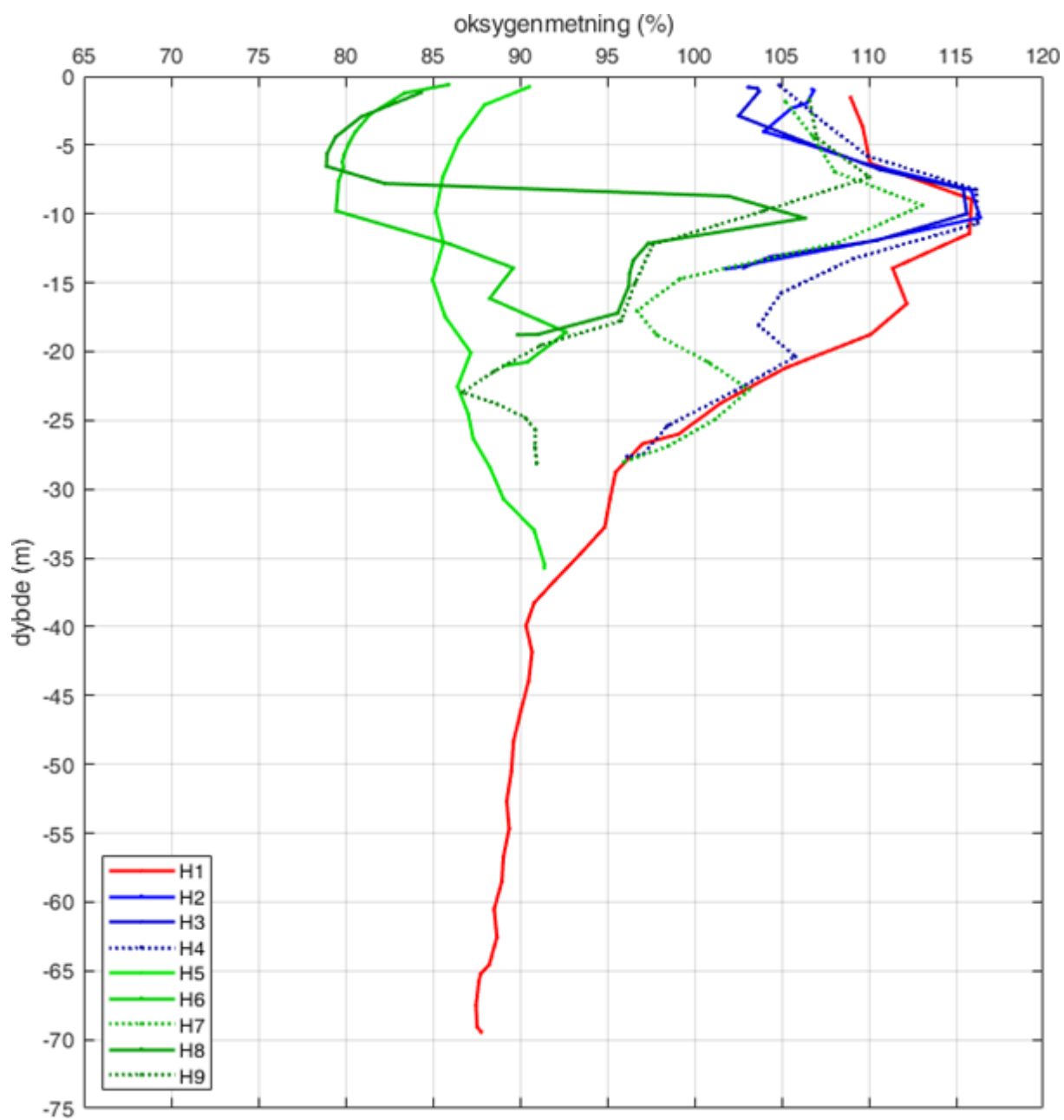
Figur 14.61: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 12.06.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



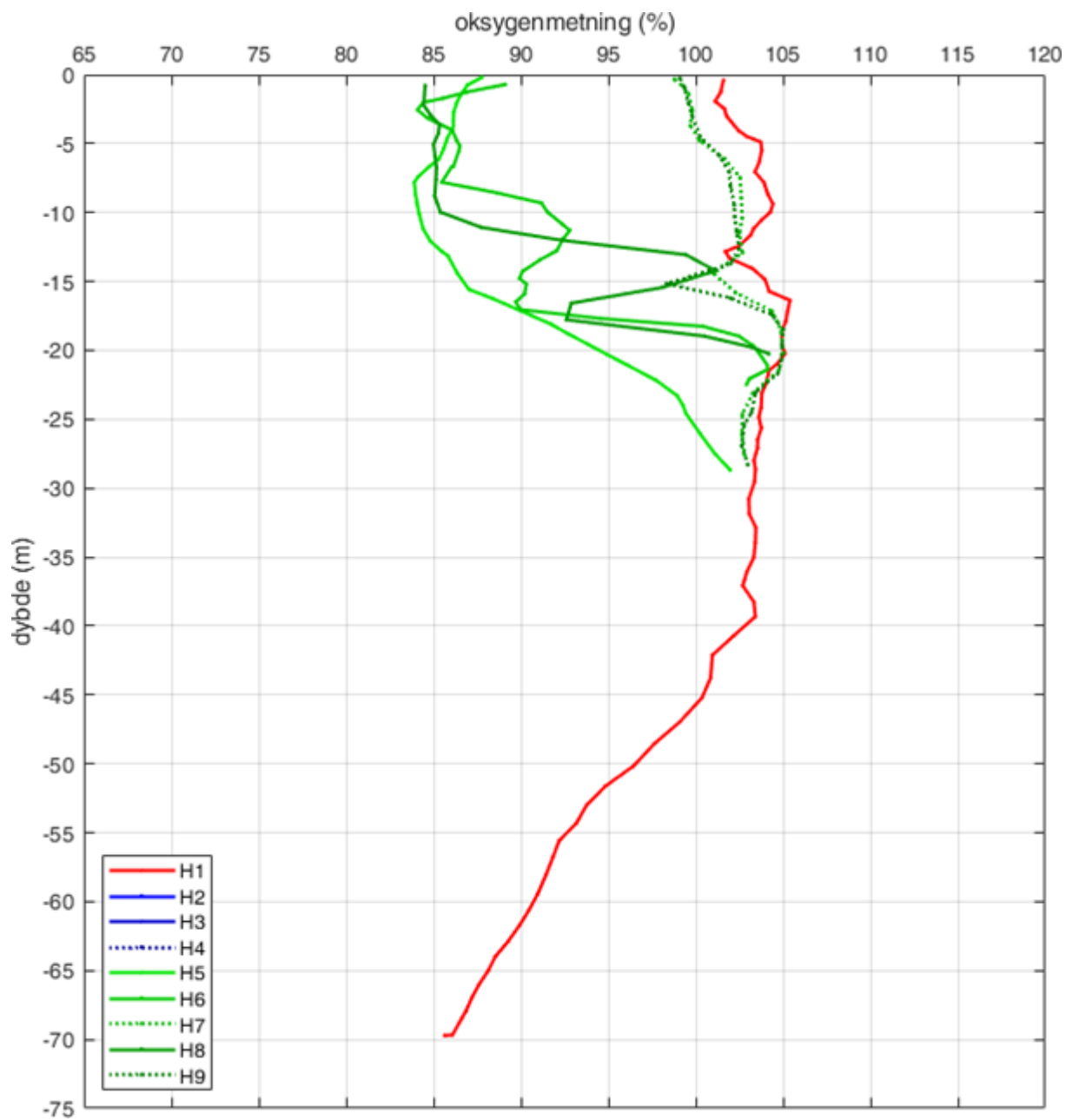
Figur 14.62: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 16.06.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. (Denne figuren er også presentert som figur 9.6, høyre.)



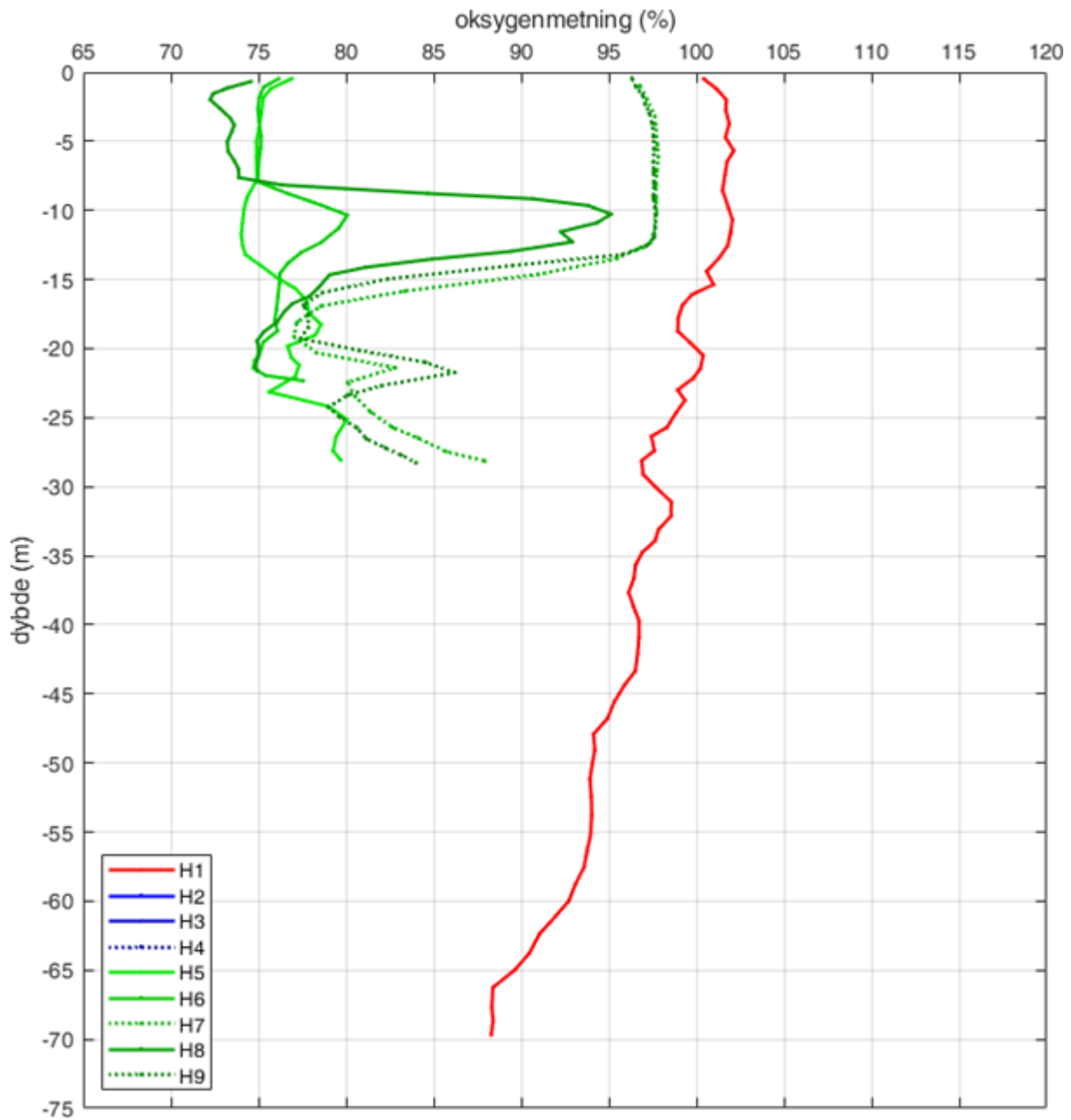
Figur 14.63: Oksygenmetning (%) i stasjon H5–H9 målt 23.06.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke utført målinger i stasjon H1–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



Figur 14.64: Oksygenmetning (%) i stasjon H1–H9 målt 08.07.2020 ved Kyrøyene. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. (Denne figuren er også presentert som figur 9.6.)

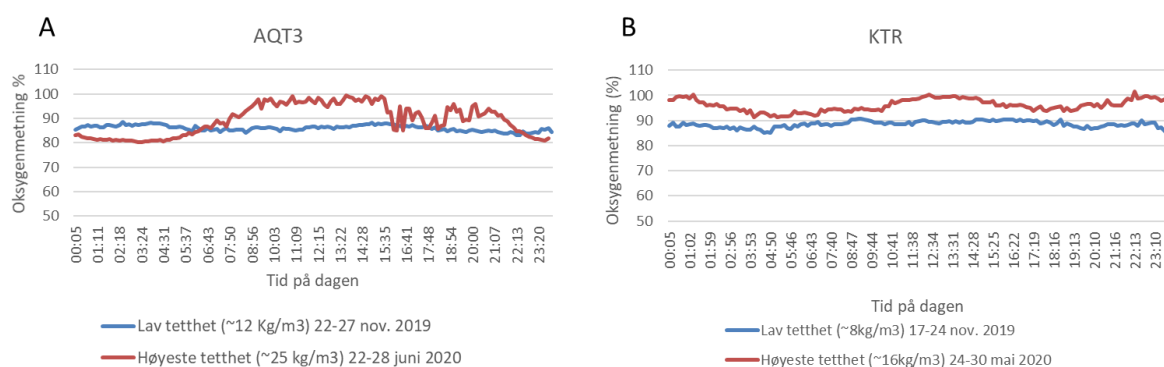


Figur 14.65: Oksygenmetning (%) i stasjon H1 og H5–H9 målt 29.07.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke utført målinger i stasjon H2–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf.



Figur 14.66: Oksygenmetning (%) i stasjon H1 og H5–H9 målt 21.08.2020 ved Kyrøyene. Det ble ikke utført målinger i stasjon H2–H4 denne dagen. Se tegnforklaringen nederst til venstre for nøyaktig måledato tilhørende hver graf. (Denne figuren er også presentert som figur 9.7.)

14.3. Gjennomsnittlig døgnvariasjon i O₂-metning ved lav og høy tetthet



Figur 14.67: Den gjennomsnittlige døgnvariasjonen i oksygenmetning (%). Blå linje er ved oppstart (lav fisketetthet) og rød linje er ved den høyeste tettheten i A) AQT3 B) KTR.