

- IRIS Energi
- IRIS Samfunnsforskning
- IRIS Biomiljø
- ULLRIGG bore- og brønnsenter



Validering av Seafarm Pulse Guard systemet - bærekraftig bekjempelse av lakseluspåslag hos oppdrettslaks

Fullskala dokumentasjon av strømgjerde mot lakseluspåslag

Fiona Provan, Aurelie Haag og Elisa Ravagnan

RAPPORT – 2017/141



Prosjektnummer:	7941984
Prosjektets tittel:	Validering av Seafarm Pulse Guard systemet- bærekraftig bekjempelse av lakseluspåslag hos oppdrettslaks
Oppdragsgiver(e):	FHF 901314
Forskningsprogram:	
Gradering:	Åpen (ISBN 978-82-490-090-2)

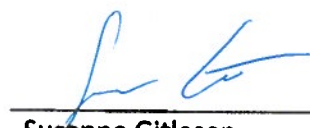
Stavanger, 07.12.2017



Fiona Provan
Seniorforsker



Asbjørn Bergheim
QA



Susanne Gitlesen
Direktør, Biomiljø

©Kopiering er kun tillatt etter avtale med IRIS eller oppdragsgiver.

Vår forskning er sertifisert etter et kvalitetssystem basert på NS-EN ISO 9001 og NS-EN ISO 14001:2004

Innholdsfortegnelse

INNHALDSFORTEGNELSE	3
FIGURFORTEGNELSE	5
TABELLFORTEGNELSE	7
SAMMENDRAG	8
1. INNLEDNING	9
2. PROSJEKTMÅL OG PROSJEKTORGANISERING	10
3. LOKALITETER, SPG SYSTEMET OG PRØVETAKING	12
3.1 Lokalteter.....	12
3.2 Prøvetaking.....	13
3.2.1 Buholmen (Lerøy)	13
3.2.2 Skifteneset N. (Bolaks).....	14
3.3 Registrering av lus	14
3.4 Velferdsanalyser	15
3.5 Statistisk analyse	15
4. RESULTATER.....	17
4.1 Buholmen (Lerøy)	17
4.1.1 Registrering av lus	17
4.1.2 Andre behandlinger.....	18
4.1.3 Rensefisk.....	18
4.1.4 Temperaturutvikling.....	19
4.1.5 Registrering av strømstans	19
4.1.6 Utvikling vekt	20
4.1.7 Utvikling lengde	21
4.1.8 Utvikling luseforekomst.....	23
4.1.9 Utvikling luseforekomst - copepoditt stadie	25
4.1.10 Utvikling av luseforekomst- Chalimus-stadier.....	26
4.1.11 Utvikling av lus pre- adult stadier.....	27
4.1.12 Utvikling av lusestadier- adult hann	28
4.1.13 Utvikling lusestadier-adult hunn	29
4.1.14 Analyse av luseforekomst.....	30
4.1.15 Statistisk analyse av lusetall (negativ binomial regresjonsanalyse)..	32

4.2	Bolaks (Skifteneset N.).....	32
5.	DISKUSJON.....	37
6.	KONKLUSJON.....	39
7.	REFERANSER.....	40
8.	VEDLEGG.....	42
	Vedlegg 1.....	42
	Vedlegg 2.....	44
	Vedlegg 3.....	46
	Vedlegg 4.....	48

Figurfortegnelse

Figur 1 Lokasjoner hvor SPG systemet er under validering.

Figur 2 Installasjon av SPG systemet ved Skifteneset N.

Figur 3 Fisk hentes ved hjelp av kran (foto IRIS)

Figur 4 Lus registreres på bedøvet fisk i lave hvite kar. Det brukes lupe der det anses som hensiktsmessig (Foto IRIS)

Figur 5 Temperatur (°C) i sjø i perioden, 15. august 2016 - 15. februar 2017 (Data fra Barentswatch)

Figur 6 Gjennomsnitt vekt (gram) med standardavvik (- kontroll merder, - merd med SPG system)

Figur 7 Gjennomsnitt lengde (mm) (fork length) med standardavvik. (- kontroll merder, - merd med SPG system)

Figur 8 Vekstkurve inkludert Specific Growth Rate (SGR)

Figur 9a Gjennomsnitt lusetall (alle stadier), (- kontroll merder (c) , - merd med SPG system (P))

Figur 9b Gjennomsnitt lusetall (alle stadier) (- kontroll merder (c), - merd med SPG system (P)). Figuren viser tidspunkt for ulike behandlinger og for strømstans.

Figur 10 Gjennomsnitt lusetall (copepoditt stadium) (- kontroll merder (c), - merd med SPG system (P)). Figuren viser tidspunkt for ulike behandlinger og for strømstans.

Figur 11 Gjennomsnitt lusetall (chalimus stadium) (- kontroll merder (c), - merd med SPG system (P)). Figuren viser tidspunkt for ulike behandlinger og for strømstans. Figur 11a, chalimus I, Figur 11b, chalimus II.

Figur 12 Gjennomsnitt lusetall (preadult) (- kontroll merder (c), - merd med SPG system (P)). Figuren viser tidspunkt for ulike behandlinger og for strømstans.

Figur 13 Gjennomsnitt lusetall (adult hann) (- kontroll merder (c), - merd med SPG system (P)).

Figur 14 Gjennomsnitt lusetall (adult hunn) (- kontroll merder (c), - merd med SPG system (P)).

Figur 15 Lus per fisk Skifteneset N. Behandlinger mekanisk fjerning uke 16. medikamentell fôrbehandling (Diflubenzuron) uke 16,17 og 19. (Kilde Barentswatch)

Figur 16 Lus per fisk Skifteneset N IRIS tellinger (januar-april 2017)

Figur 17 Copepoditt per fisk Skifteneset N IRIS tellinger (januar-april 2017)

Figure 18 Oversikt over luseforekomst ved Skifteneset N. data fra IRIS tellinger og Barentswatch. Behandlinger mekanisk fjerning uke 16. medikamentell fôrbehandling (Diflubenzuron) uke 16,17 og 19.

Figure 19 Oversikt over luseforekomst ved Skifteneset N., Lyngnes og Lindarholmen, data fra IRIS tellinger og Barentswatch. Behandlinger Skifteneset N., mekanisk fjerning uke 16., medikamentell fôrbehandling (diflubenzuron) uke 16, 17 og 19. Behandlinger Lindarholmen rensefisk uke 10, mekanisk fjerning uke 17, 23. Behandling Lyngnes mekanisk fjerning uke 16 medikamentell fôrbehandling (diflubenzuron) uke16, 18.

Tabellfortegnelse

Tabell 1 Oversikt over når fisk ble satt ut i merd.

Tabell 2 Oversikt over datoer for registrering av lus

Tabell 3 Oversikt over tilleggsbehandlinger utført ved anlegget

Tabell 4 Oversikt over bruk av rensefisk bruk (Barentswatch)

Tabell 5 Oppsummert statistisk analyse av lusetall

Sammendrag

Lakselus er en hovedutfordring når det gjelder bærekraftig utvikling av lakseoppdrett i Norge. Selskapet SFD A/S har utviklet Seafarm Pulse Guard Systemet for å bekjempe påslag av lakselus hos oppdrettslaks. I 2016-2017 ble det utført fullskala forsøk ved lokalitetene Buholmen (Lerøy) og Skifteneset N (Bolaks), for å validere effekt av gjerdet.

Basert på data fra Lerøy sitt anlegg (Buholmen) kan en i disse forsøkene ikke påvise noen signifikant effekt av gjerdet på lusepåslag. Ved visse tidspunkt tidlig i forsøksperioden kan en se en tendens til reduksjon i antall copepoditter i behandlet merd. Samtidig er det ved senere tidspunkt økte antall pre-adulte og voksne hannlus i behandlede merder sammenlignet med kontrollmerder. Ved Bolaks sitt anlegg på Skiftenset N. er det vanskelig å trekke konklusjon vedrørende virkning ettersom det ikke er kontrollmerder. Her har det vært utfordringer med flere seksjoner av gjerdet på grunn av vanninntrengning i topptermineringen, vanninntrengning ble først påvist i april 2017.

Tekniske utfordringer med drift av systemet gjør at en på nåværende tidspunkt ikke kan trekke konklusjoner vedrørende effekt av SPG systemet på lusepåslag, dermed avsluttes prosjektet tidlig. De resultatene som foreligger fra dette prosjektet til nå, da særlig basert på validering av gjerdet på hos Lerøy (Buholmen) tyder på at gjerdet i sin nåværende utgave ikke kan defineres som et effektivt preventivt middel for å bekjempe lus i kommersielle anlegg.

1. Innledning

Den utvendige parasitten lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) er en hovedutfordring når det gjelder bærekraftig utvikling av lakseoppdrett i Norge [1-5]. I dag bekjempes lakselusen hovedsakelig med biologiske metoder (leppefisk, rognkjeks) eller kjemiske metoder (anti-parasittmidler) etter at lakselusen har satt seg på laksen. Men fordi parasittene gradvis tilpasser seg medikamentene og metodene, har et økt fokus vært rettet mot utvikling av forebyggende teknologier som hindrer påslag av infeksjøs lakseluslarver de siste årene. Ulike preventive metoder foreligger, inkludert semi-lukkede og lukkede anlegg [6] og planktonduk [7]. Men felles for disse er at det er identifisert en rekke potensielle utfordringer knyttet til de nåværende teknologiene, inkludert høye kostnader, lav vannutskiftning og lav vanngjennomstrømning, som kan få konsekvenser for fiskehelse og fiskevelferd [8].

Seafarm Pulse Guard (SPG) er et forebyggende bekjempelsesmiddel mot påslag av lus i oppdrettsanlegg. SPG er et patentert system hvor strømpulser danner et elektrisk felt i sjøen i umiddelbar nærhet og rundt oppdrettsanleggene for å hindre at lakselus kommer inn i merdene og infiserer laksen. Teknologi som hindrer fysisk kontakt mellom den infeksjøs luselarven og laksen beskrives som den ultimate løsningen for å hindre lakselus påslag [8], og SPG systemet representerer nettopp en slik løsning. Prosjektet er en oppfølging og videreutvikling av et tidligere FHF finansiert initiativ, samt NFR Innovasjonsprosjekt #208551/E40 [9].

Høsten 2016 ble SPG-systemet installert ved fire av åtte merder (160 m omkrets) ved Lerøy Vest sitt anlegg ved Buholmen (11543). I tillegg ble SPG-systemet installert ved Bolaks sitt anlegg Skifteneset Nord (12048). Systemene oppgraderes og tilpasses fortløpende.



Buholmen, Lerøy
11543



Skifteneset N, Bolaks
12048

Figur 1 Lokasjoner hvor SPG systemet er under validering.

2. Prosjektmål og prosjektorganisering

Prosjektet har som hovedmål å validere SPG-systemet ved operasjonelle oppdrettsanlegg.

Delmål:

- M1 Dokumentere effekt av SPG-systemet på lusepåslag og velferdstilstand for laks i fullskala produksjonsanlegg (AP1-1).
- M2 Dokumentere protokoll for lusetelling som gir nøyaktig bilde vedrørende status for nye påslag (AP1-2).
- M3 Multivariat analyse av innsamlet data (AP1-3).
- M4 Evaluere effekt av elektriske pulser på lusens fysiologi - histologiske og histokjemiske analyser (AP2).
- M5 Evaluerer SPG-systemet i et mer helhetlig bærekraftperspektiv.

Det er behov for å dokumentere effektgraden av SPG-systemet på alle lusestadier i et operasjonelt anlegg hvor SPG-systemet er i operasjon over tid og hvor det, i den grad det er mulig, begrenses bruk av medisinsk behandling eller annen behandling som kan påvirke muligheten for å trekke konklusjoner vedrørende systemets effekt. Videre er det behov for statistisk analyse av lusedata fra alle stadier for å kunne tolke resultat og følge utvikling av lusestadier. Det planlegges registrering av velferdsparameter og produksjonsparameter for å kunne danne et omfattende dokumentasjonsgrunnlag vedrørende teknologien.

Prosjektorganisering

Prosjektdeltakere

Følgende IRIS personal har deltatt ved tellinger: Alessio Gomiero, Emily Lyng, Mark Berry, Stig Westerlund, Eivind Larssen, Mari Mæland, Sreerheka Ramanand, Frederike Keitel-Gröner.

Aurelie Haag v. IMARI A/S Statistisk analyse

Styringsgruppe

Stein Åge Davidsen, SFD

Rune Eritzland, SFD

Helge Holmefjord, Bolaks

Torgeir Hjertnes, Bolaks

Ivar Ove Fagerbakk, Lerøy

Erik Dahl-Paulsen, Lerøy

Linn Maren Strandenes (erstattet Erik Dahl Paulsen fra mars 2017), Lerøy

Marit Stormoen, Marine Harvest

Fiona Provan, IRIS

FHF ansvarlig for prosjektet

Kjell Maroni

Samarbeid Veterinærinstituttet

Kvalitetssikring IRIS: Seniorforsker Asbjørn Bergheim

Styringsgruppemøter avholdt følgende datoer: 27.01.16, 16.02.17, 17.03.17, 28.04.17, 02.06.17

3. Lokalteter, SPG Systemet og prøvetaking

3.1 Lokalteter

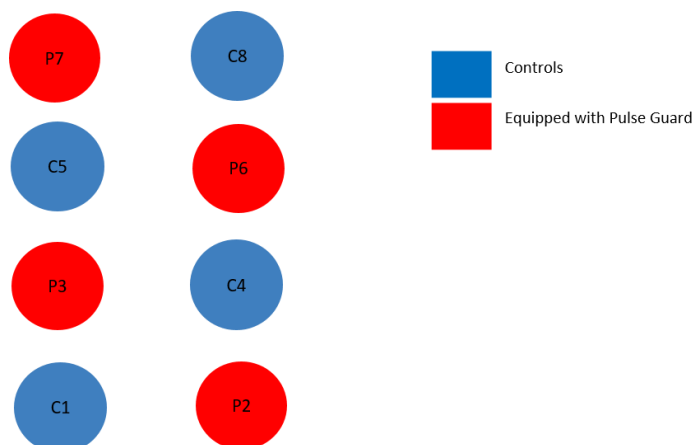
Prosjektet ble gjennomført ved to ulike lokaliteter.

3.1.1.1 Lerøy (Buholmen)

Gjerdet er installert ved merder 2, 3, 6 og 7, mens merder 1, 4, 5 og 8 er kontrollmerder. SPG gjerder ble installert ved annen hver merd i henhold til enighet med Veterinærinstituttet, fiskehelseansvarlig ved Lerøy samt SFD. Første telling i dette prosjektet ble utført hos Lerøy 16. januar 2017. For Lerøy sin lokalitet begynte arbeid med verifisering i tidligere prosjekt fra August 2016, også disse resultatene tas med i rapporten.

Tabell 1 Oversikt over når fisk ble satt ut i merd.

Merd	Dato	SPG gjerde	Kommentar
1	2/8/16		
2	9/8/16	+	
3	15/8/16	+	
4	14/8/16		
5	14/8/16		
6	31/8/16	+	Postsmolt fra tubenot
7	Uke 35	+	
8	Uke 35		



Figur 2 Installasjon av SPG systemet ved Buholmen

Drift av SPG systemet basert på muntlig informasjon fra SFD (møter april 2017)

Elektroden som var i drift omtales som versjon 1,0, det er aluminiumskinner i toppterminering. Elektrode 4,2 mm, kobberkjerne 1,5 kvadrat. SPG systemet ble startet opp på 30V, det ble skiftet ut trafo før spenningen ble satt opp til 48V. Systemet startet gjerne på 75Amp til hver merd og så kom det et dropp, det ble kalibrert til 48V gjorde et lite hopp, dalt nedover til 23Amp. Det har vært strømbrudd, en del skyldes aggregat hos Lerøy, en del skyldes likerettere som har røket i systemet til SFD, disse ble skiftet ut. Pulserer 50ms puls 300 ms pause. Det er en pulskilde på hver side av merden. En pulskilde rekker ut til halv merd, hvor merden har en omkrets på 160m fra pulskilden går det pur- kabel 5 x 4 kvadrat, 2 og 2 koplet sammen 8 kvadrat tilleder kabel ut til enden. Parallell kopling til fire nett henger i hver retning fra SPG. Disse er tilkoplet aluminiumsskinner som ligger i vann. Isolert i polyuretan som isolerer fra vann.

3.1.1.2 Bolaks (Skifteneset N) basert på muntlig informasjon fra SFD (møter april 2017)

Dette er et stålanlegg og hele anlegget er omsluttet av et SPG gjerde. Fisken ble satt i sjø 29.07.2016 (merd 1, 2 og 3) og 08.09.2016 (merd 5 og 6). Ved Bolaks sitt anlegg ble første telling utført av IRIS 24. januar 2017. Elektrode omtales som v 1,0, større seksjoner har kobber i toppterminering, resterende har aluminium. SPG seksjonene er senket under flottører på anlegget, det er her flere seksjoner per inndeling på skap enn hos Lerøy. Systemet driftes fra fire skap og det er 400 meter med gjerde rundt anlegget. Systemet ble startet på 30V, spenning ble deretter økt til 48V i desember 2016. For pulsmønster er det utprøvd 2 ms på- og 10 ms av i et forsøk for å se om dette vil gi bedre effekt. Startet med 25 ms på 600 ms av. Deretter justert til 10 ms på- 600 ms avkoblet. Kalibrering foregikk 25 ms på, 600 ms av.

3.2 Prøvetaking

3.2.1 Buholmen (Lerøy)

Fisk ble tatt opp av ansatte ved Lerøy, standard prosedyre ble brukt med trenging og kran. Fisk ble overført direkte i kar (Sæplast 380 liter plastkar m/lokk - 95x75x75cm) med sjøvann som pumpes (Lensepumpe 220 V, Stål, 550 W). Fisk ble bedøvet med BENZOAK VET Bensokain 200 mg/ml (20%) 15-20ml Benzoak/100 liter. Bedøvet fisk ble talt i lave brett med sjøvann, alle stadier ble registrert (copepoditt, chalimus I og II; preadult hunn/hann I og II, adult hann (hunn)).



Figur 3 Fisk hentes ved hjelp av kran (foto IRIS)

3.2.2 Skifteneset N. (Bolaks)

Fisk ble tatt opp av SFD personal ved trenging og bruk av håv. Ellers samme prosedyre som ved Buholmen for bedøving, oppvåkning og retur til merd.

3.3 Registrering av lus

Telling ble i utgangspunktet foretatt ukentlig, dette ble redusert til hver 2. uke i oktober 2016. Basert på dataanalyse fra tellinger foretatt ved Rong, ble det besluttet å telle 30 fisk per merd for å få et representativt utvalg. Etter telling ble fisk plassert i oppvåkingskar og deretter returnert til merd. Teller registreres for å gi mulighet for å vurdere variasjon mellom tellere. Fra 16. januar ble all fisk som telles veid og målt og lus/g/mm ble beregnet.



Figur 4 Lus registreres på bedøvet fisk i lave hvite kar (Foto IRIS)

3.4 Velferdsanalyser

Fiskens utseende, vekt, lengde og kondisjonsfaktor ble registrert ukentlig. Videre ble vektutvikling og lengde fulgt. Etter prosjektplan skulle skinnkvalitet (histologi) analyseres og det skulle tas ut 15 fisk per merd for analyse, tre ganger i løpet av forsøksperioden. Oppdretter har registrert data knyttet til vannkvalitet, oksygenmengde. Tap registreres fra hver merd.

3.5 Statistisk analyse

Den statistiske programvaren R[®] versjon 3.1.1 har blitt brukt til all statistisk analyse.

Dataene ble samlet inn, kontrollert for skrivefeil og uteliggere fjernet. Lus ble delt inn i seks kategorier avhengig av deres "modenhet": copepoditt, chalimus I, chalimus II, pre-adult, voksne hann og voksne hunn. Dataene er også kategorisert etter:

- merd
- tidspunktet hvor prøven ble tatt,
- Behandling: om merden var utstyrt med SPG (Behandlet) eller ikke (Kontroll)

"lusetall per fisk" ble beregnet. Jo større fisken er, desto mer sannsynlig er det at lus vil infestere fisken. Men for å ta hensyn til både vekt og lengde, vil følgende variabel bli brukt: lus per gram per mm fisk.

$$\text{sea lice per gram per mm of fish } Y \text{ at stage } X = \frac{\text{amount of sea lice at the stage } X \text{ on fish } Y}{\frac{\text{weight of fish } Y}{\text{fork length of fish } Y}}$$

Basert på denne variabelen, for hvert tidspunkt og for hvert lusestadium, vil vi studere om det er forskjell mellom kontrollmerder og behandlede merder, dvs. merder utstyrt med SeaFarm Pulse Guard.

Statistisk analyse for å sammenligne lus per gram per mm mellom kontroll og behandlingsmerder ble foretatt ved bruk av Kruskal-Wallis testen og Mann-Whitney test.

Negativ binomial regresjonsanalyse ble brukt for å vurdere effekten av variablene: behandling, tid, samt vekt og lengde (variable ratio), på mengden lus per fisk. Siden responsvariabelen skal være telledata, må vi bruke variabelen "antall lus per fisk" i stedet for "antall lus per g.mm⁻¹ fisk". Fiskens vekt og gaffellengde vil bli tatt i betraktning i modellen ved å bruke «variable ratio» som en forklarende variabel.

Modellen inkluderer en "subjekteffekt" fra merd-variabelen, siden fisk som er plukket fra samme merd, kan betraktes som gjentatte målinger. Fisk fra en gitt merd opplever de samme miljøforholdene.

For hvert lusestadium etableres det en negativ binomialmodell som inkluderer alle variablene, dvs. behandling, tid, forhold og vanntemperatur, samt alle interaksjonsbetingelser. AIC- og BIC-kriteriene beregnes. Deretter fjernes variabelen som bidrar minst til modellen (høyeste p-verdi). AIC og BIC blir beregnet på nytt for den optimaliserte modellen. Så lenge AIC og BIC fortsetter å minske, blir de "dårligste variablene" fjernet fra modellen. Til slutt får vi for hvert lusestadium den mest passende modellen med laveste AIC og / eller BIC.

4. Resultater

4.1 Buholmen (Lerøy)

4.1.1 Registrering av lus

Lus ble registrert på fisk av IRIS personell. Det ble talt lus på 30 fisk per merd, datoer og merd hvor det ble talt mindre fisk er vist i Tabell 2. På grunn av værforhold var det ikke alltid mulig å hente opp 30 fisk fra alle merder. I følge planen skulle tellinger utføres hver 2. uke i prosjektperioden, tellinger ble utsatt visse uker på grunn av værforhold.

Tabell 2 Oversikt over datoer for registrering av lus

			Controls				Treated			
			C1	C4	C5	C8	P2	P3	P6	P7
2016	15.aug	0 days								
	23.aug	8 days								
	29.aug	14 days								
	05.sep	21 days								
	12.sep	28 days								
	19.sep	35 days								
	26.sep	42 days								
	03.okt	49 days								
	17.okt	63 days								
	24.okt	70 days							23 fish	
12.des	119 days	18 fish								
2017	16.jan	154 days								
	30.jan	168 days		28 fish					24 fish	
	13.feb	182 days								
	27.feb	196 days								
	13.mar	210 days								
	03.apr	231 days								
	25.apr	253 days		19 fish						
	15.mai	273 days	8 fish			28 fish		21 fish		
22.mai	280 days									

4.1.2 Andre behandlinger

Det ble utført en rekke behandlinger ved anlegget inkludert ferskvanns behandling mot AGF, behandling med SLICE (emamektin benzoat), samt uttesting av Optilicer og Thermolicer.

Tabell 3 Oversikt over tilleggsbehandlinger utført ved anlegget

			Controls				Treated			
			C1	C4	C5	C8	P2	P3	P6	P7
2016	06.okt	D+52	AGD							
	07.okt	D+53					AGD			
	08.okt	D+54						AGD		
	13.okt	D+59		AGD						
	14.okt	D+60			AGD					
	29.okt	D+75							AGD	
	30.okt	D+76				AGD				AGD
	07.nov	D+83	AGD							
	09.nov	D+84						AGD		
	11.nov	D+86		AGD	AGD					
	12.nov	D+87					AGD			
	21.nov	D+97	SLICE treatment							
	28.nov	D+104	SLICE treatment							
2017	04.apr	D+232							Th.	
	17.mai	D+275					Opti			
	21.mai	D+279			Opti	Opti		Opti		Opti

AGD: AGD behandling (4 timer ferskvann)

Th. Thermolicer

Opti. Optilicer

4.1.3 Rensefisk

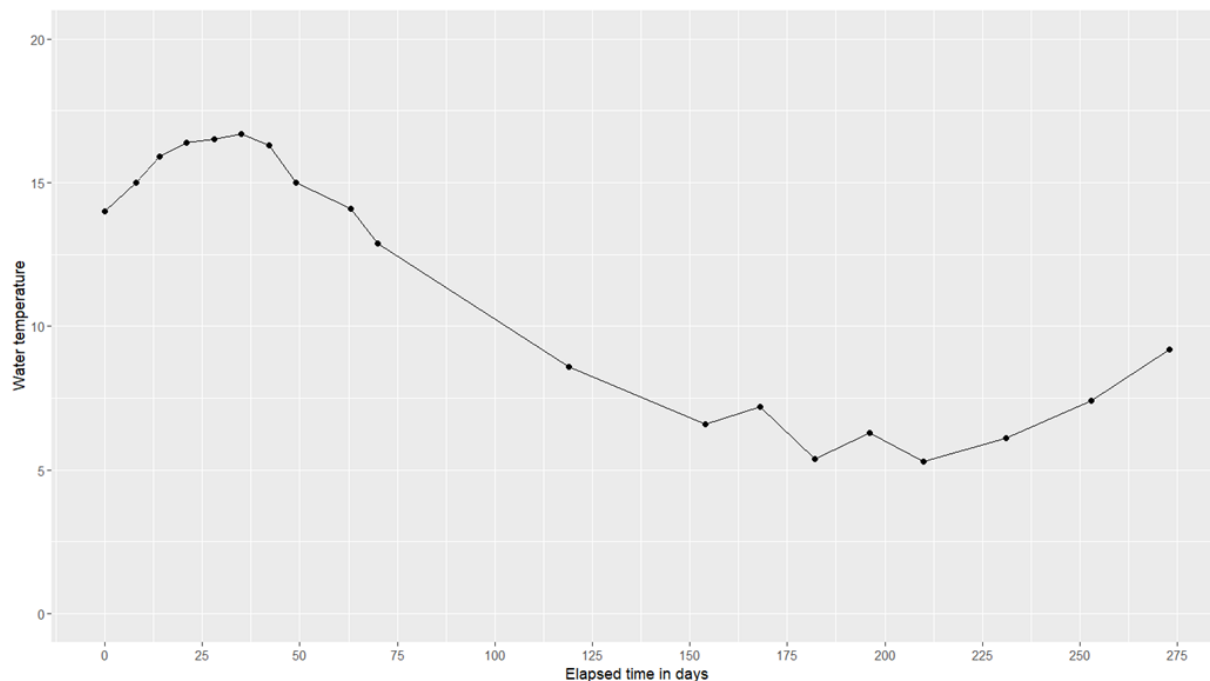
Det ble brukt rensefisk ved lokaliteten. Følgende informasjon er hentet fra Barentswatch

Tabell 4 Oversikt over rensefisk bruk (Barentswatch)

Uke	År	Lokalitet	Tiltak	Artsid	Rensefisk	Antall	Omfang
33	2016	11543	rensefisk	1692	Annen leppefisk	28635	hele lokaliteten
33	2016	11543	rensefisk	222120	Rognkjeks (hun)	18888	hele lokaliteten
35	2016	11543	rensefisk	1692	Annen leppefisk	37363	hele lokaliteten
10	2017	11543	rensefisk	222120	Rognkjeks (hun)	29772	deler av lokaliteten
13	2017	11543	rensefisk	222120	Rognkjeks (hun)	16588	deler av lokaliteten
14	2017	11543	rensefisk	222120	Rognkjeks (hun)	15016	deler av lokaliteten

4.1.4 Temperaturutvikling

Temperatur ved anlegget registreres av oppdretter og er vist i figur 5.



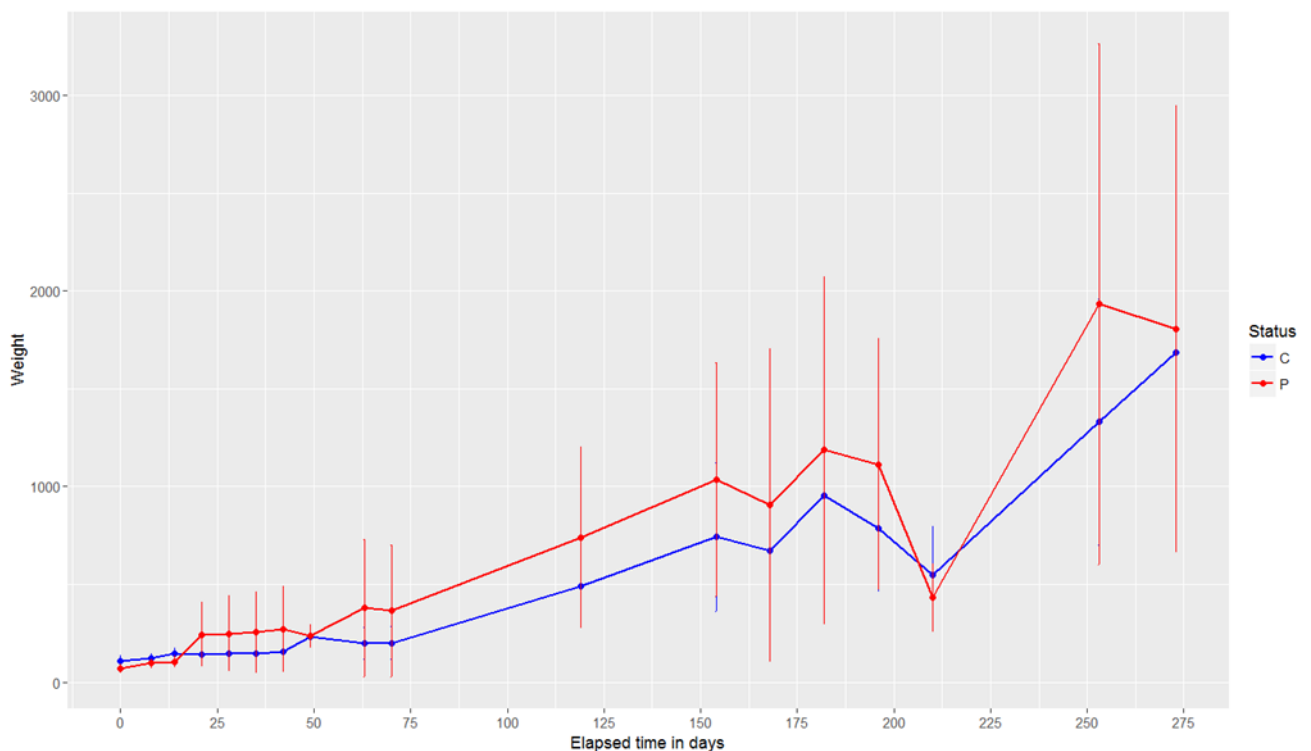
Figur 5 Temperatur (°C) i sjø i perioden, 15. august 2016 - 15. februar 2017 (Data fra Barentswatch)

4.1.5 Registrering av strømstans

Det ble registrert strømbrudd i strømtrekk SPG systemet på følgende dager (D = start forsøk): D+8 (merd 2, 3), D +13 (alle merder), D+ 26 (alle merder), D+75 (alle merder), D+85 (alle merder), D+120 (merd 7), D+135 (alle merder), D+205 (merd 7).

4.1.6 Utvikling vekt

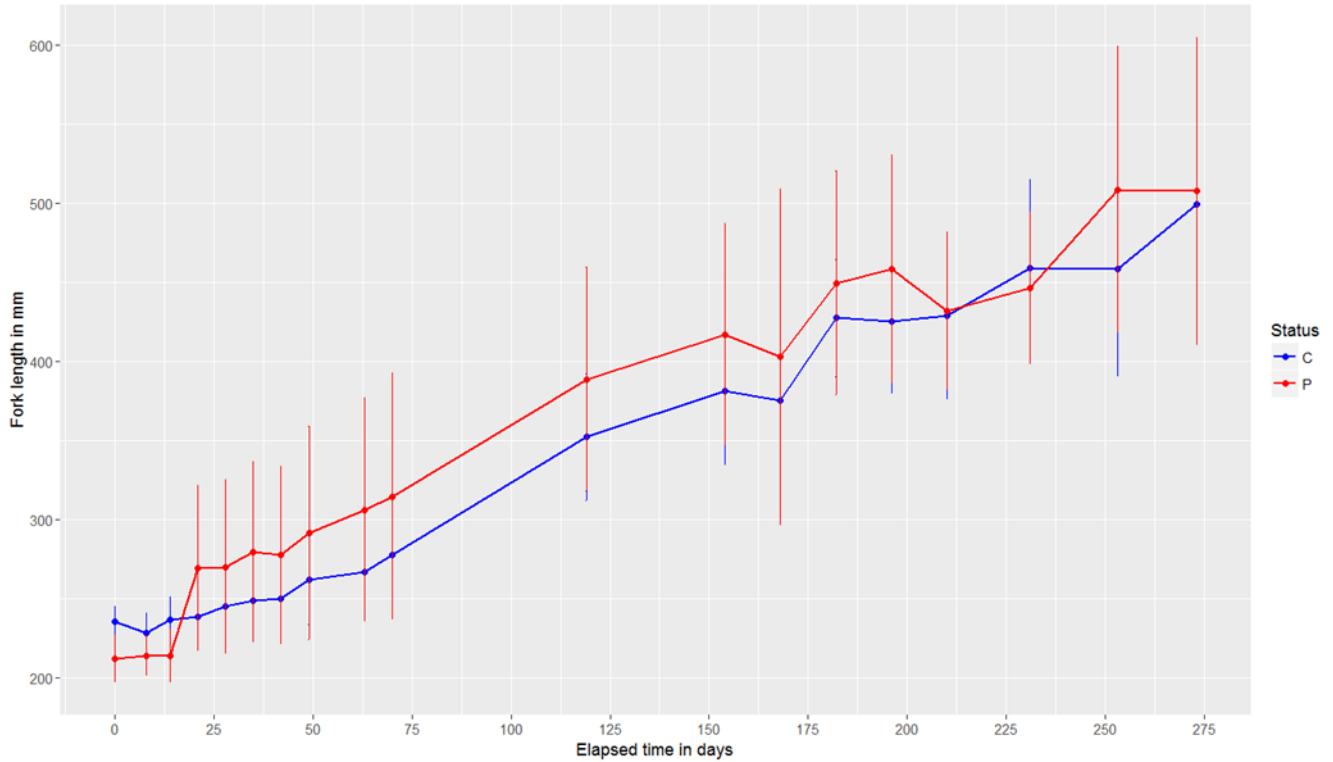
Vekt av all fisk som ble talt, ble registrert og vektutvikling per merd ble fulgt over tid (Figur 6). Fisk i merd 6 er post-smolt og var i utgangspunktet større ved introduksjon i merd. Når merd seks ikke er inkludert i beregning er kurvene overlappende. Det er ingen signifikant forskjell i vekt mellom behandlet og ubehandlet fisk. Ved D+210 var det utfordrende å veie nøyaktig på grunn tekniske problemer med vekten, på denne dagen ble det ikke hentet fisk fra merd 6. Disse faktorene var sannsynligvis grunnen til registrert vektreduksjon som ikke anses å være reell.



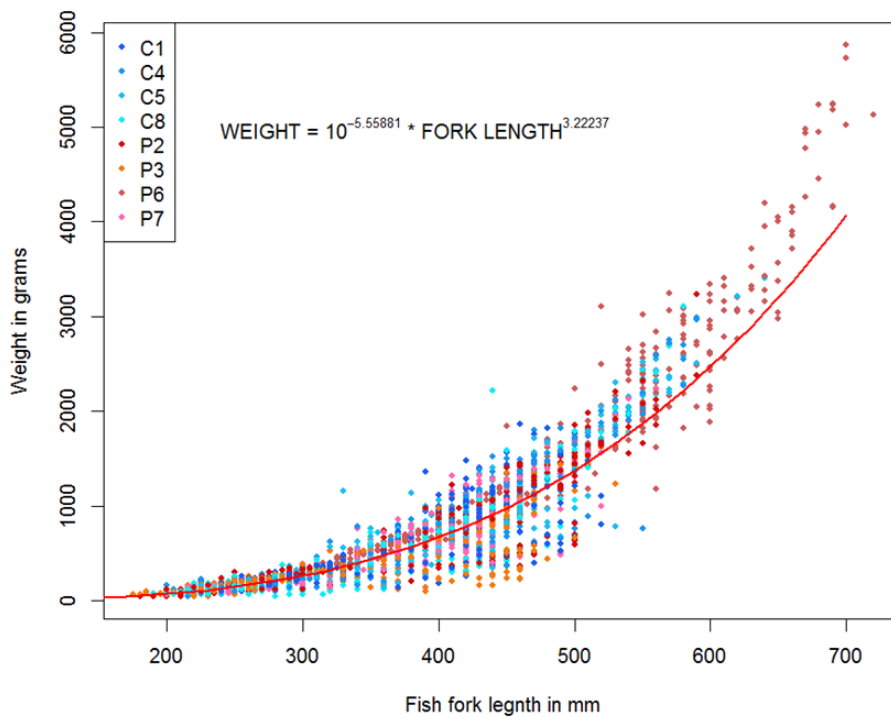
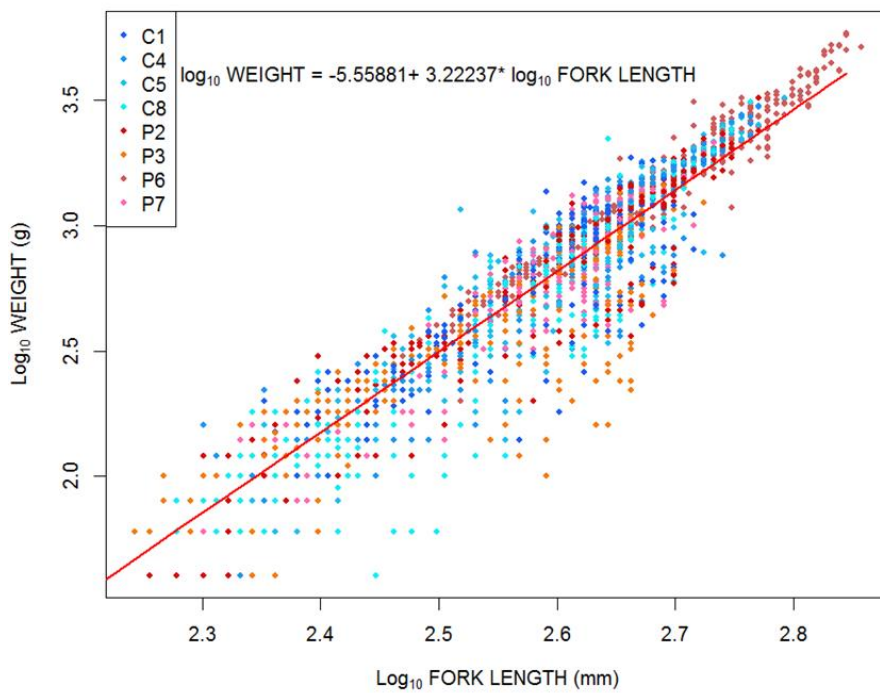
Figur 6 Gjennomsnitt vekt (gram) med standardavvik (- kontrollmerder, - merd med SPG system)

4.1.7 Utvikling lengde

Lengde av fisk ble målt og utvikling fulgt over tid. Igjen er fisk i merd 6 større og påvirker gjennomsnittet for behandlet fisk. Det kan observeres redusert lengdeutvikling ved D-210 og D+235.



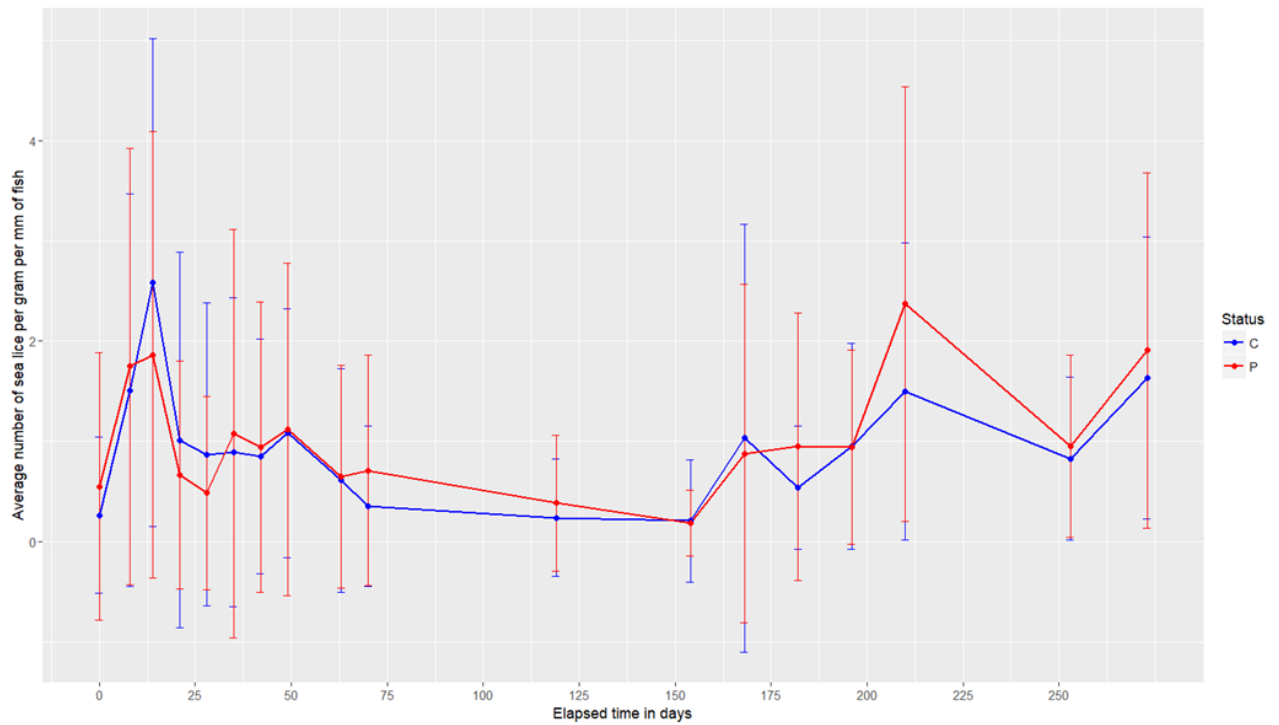
Figur 7 Gjennomsnitt lengde (mm) (fork length) med standardavvik. (- kontrollmerder, - merd med SPG system)



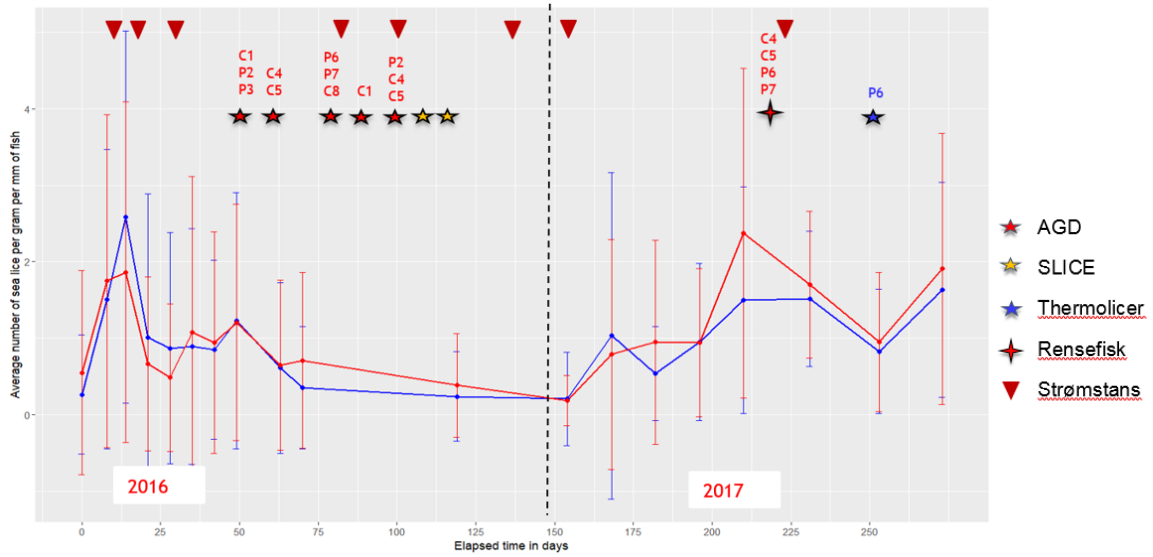
Figur 8 Vekstkurve inkludert Specific Growth Rate (SGR) ($R^2 = 0,9168$)

4.1.8 Utvikling luseforekomst

Gjennomsnitt antall lus per gram per mm følges over tid. Det kan ikke påvises noen signifikant forskjell mellom behandlet og ubehandlet fisk. Det har i løpet av prosjektperioden vært utført en rekke behandlinger ved lokaliteten eller deler av lokaliteten. Strømstans er også registrert. Det ser ikke ut til å være noen forskjell i totale lusetall mellom behandlet og ubehandlet merd, standardavvik overlapper.



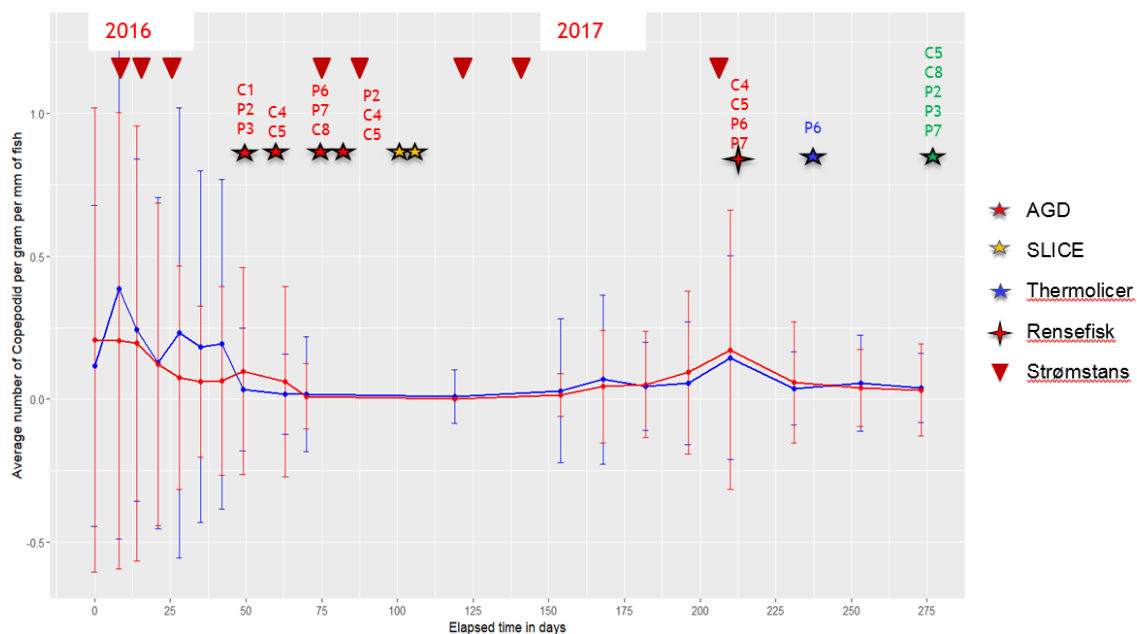
Figur 9a Gjennomsnitt lusetall (alle stadier), (- kontrollmerder (c) , - merd med SPG system (P))



Figur 9b Gjennomsnitt lusetall (alle stadier) (- kontrollmerder (c), - merd med SPG system (P)). Figuren viser tidspunkt for ulike behandlinger og for strømstans.

4.1.9 Utvikling luseforekomst - copepoditt stadie

Det er ingen signifikant forskjell i antall påviste copepoditter, mellom behandlet og ubehandlede merder. Ved oppstart av prosjektet (august 2016) kan det ses antydning til lavere snittverdi for copepoditter (per gram per mm) for behandlede merder sammenlignet med ubehandlede merder, men standardavvik er overlappende.

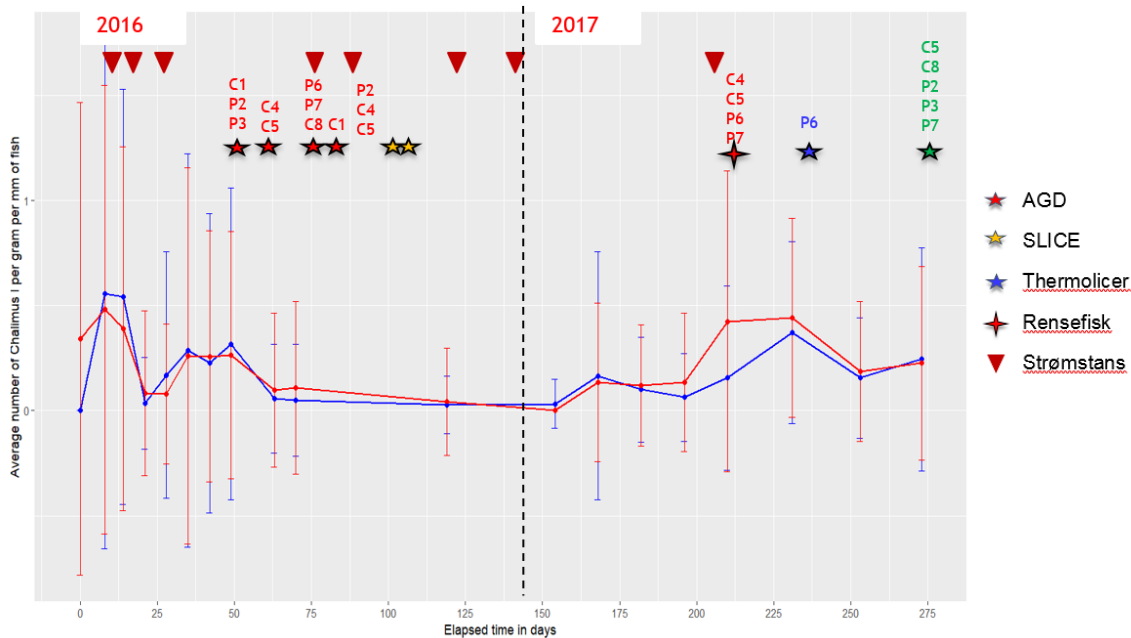


Figur 10 Gjennomsnitt lusetall (copepoditt stadie) (- kontrollmerder (c), - merd med SPG system (P)). Figuren viser tidspunkt for ulike behandlinger og for strømstans.

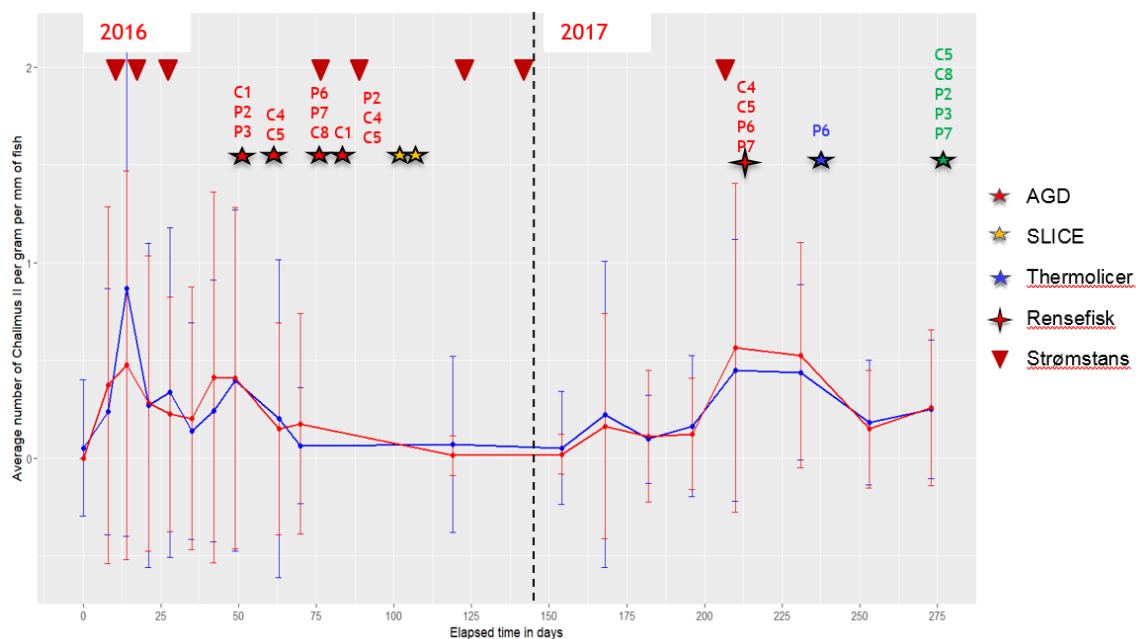
4.1.10 Utvikling av luseforekomst- Chalimus-stadier

Det er ingen signifikant forskjell i antall påviste chalimus mellom behandlet og ubehandlet fisk.

a



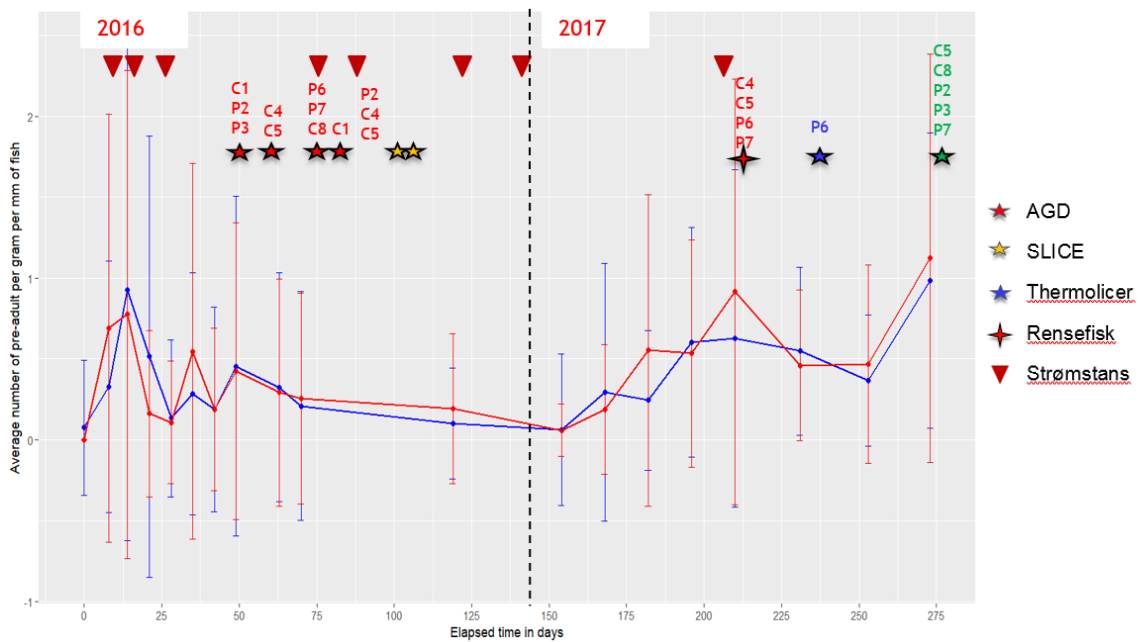
b



Figur 11 Gjennomsnitt lusetall (chalimus-stadier) (- kontrollmerder (c), - merd med SPG system (P)). Figuren viser tidspunkt for ulike behandlinger og for strømstans. Figur 11a, chalimus I, figur 11b, chalimus II.

4.1.11 Utvikling av lus pre- adult stadier

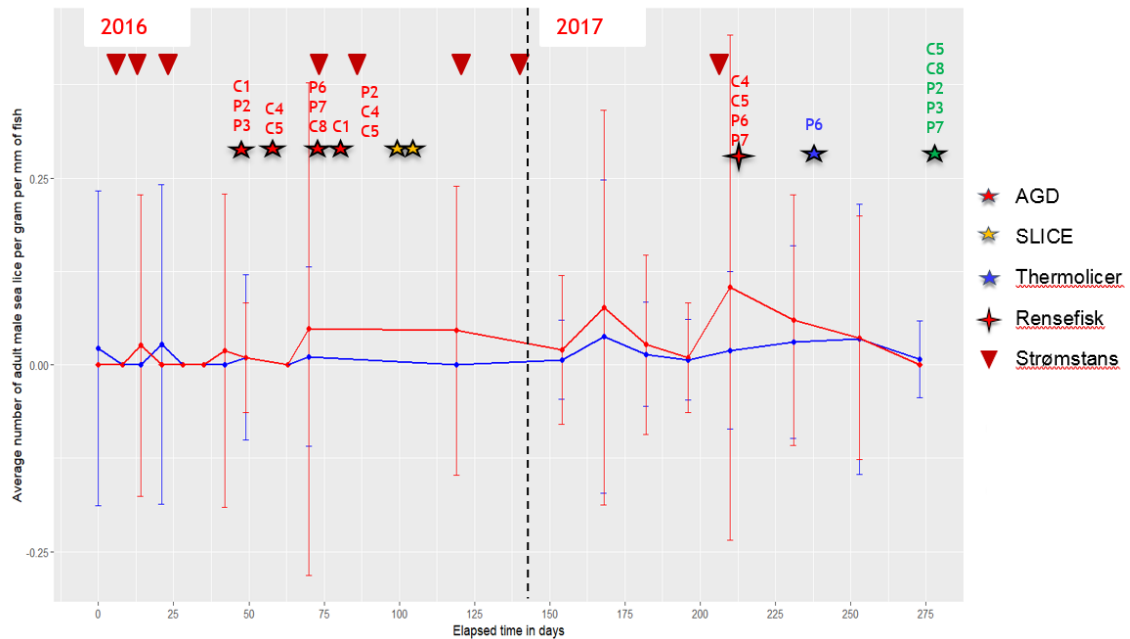
Det er ingen signifikant forskjell i antall påviste pre-adulte lus (per gram per mm) mellom behandlet og ubehandlet fisk ved noe tidspunkt.



Figur 12 Gjennomsnitt lusetall (pre-adult) (- kontrollmerder (c), - merd med SPG system (P)). Figuren viser tidspunkt for ulike behandlinger og for strømstans.

4.1.12 Utvikling av lusestadier- adult hann

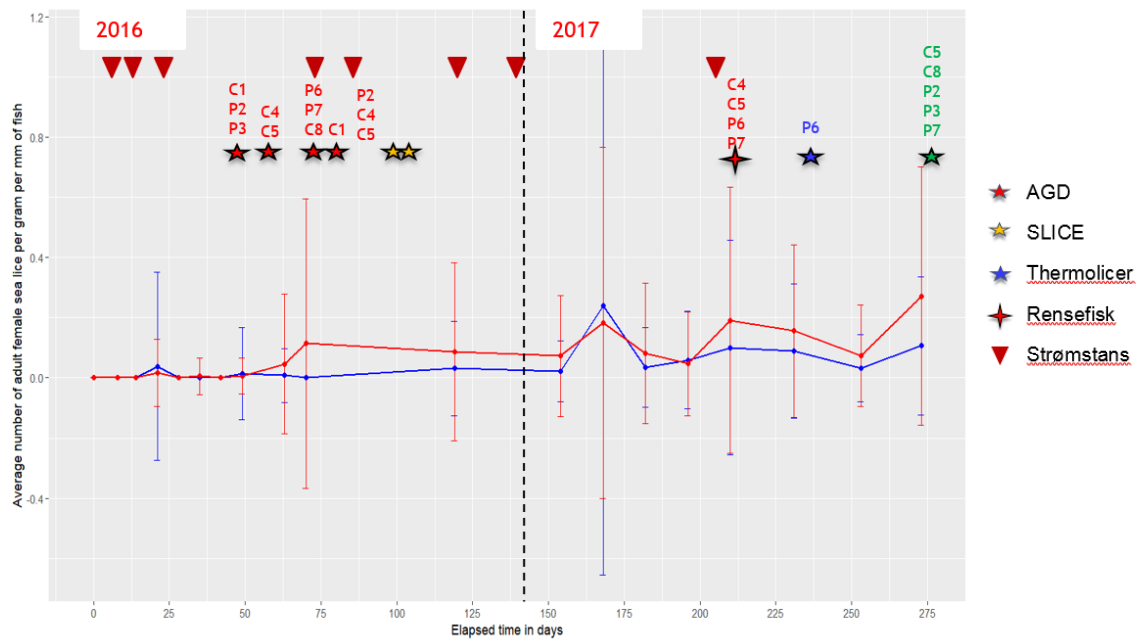
Det er ingen signifikant forskjell i antall påviste adulte hannlus mellom behandlet og ubehandlet fisk ved noe tidspunkt. På visse tidspunkt er det tydelig at det er en tendens til høyere antall adulte hannlus i behandlet merd, men overlappende standardavvik indikerer at denne forskjellen ikke er signifikant.



Figur 13 Gjennomsnitt lusetall (adult hann) (- kontrollmerder (c), - merd med SPG system (P)).

4.1.13 Utvikling lusestadier-adult hunn

Det er ingen signifikant forskjell i antall påviste adulte hunnlus mellom behandlet og ubehandlet fisk ved noe tidspunkt. På visse tidspunkt er det tydelig at det er en tendens til høyere antall adulte hannlus i behandlet merd, men overlappende standardavvik indikerer at denne forskjellen ikke er signifikant.



Figur 14 Gjennomsnitt lusetall (adult hunn) (- kontrollmerder (c), - merd med SPG system (P)).

4.1.14 Analyse av luseforekomst

Det ble vurdert om antall ulike lusestadier per gram per mm fordeles likt i alle kontrollmerdene. Det er fire kontrollmerder og variabelen "lus per gram per mm fisk" fordeles ikke normalt, derfor er det nødvendig med en parametrisk statistisk test som kan håndtere mer enn to grupper. Kruskal-Wallis-testen ble brukt. Deretter benyttes den samme metoden for å vurdere om variabel lus per gram per mm fordeles på samme måte i alle behandlede penner. Til slutt, for å påvise om det er statistisk forskjell mellom behandlet og kontrollert, ble Mann-Whitney testen brukt. På visse tidspunkt tidligere i forsøket kan man se statistisk signifikant forskjell mellom kontroll og behandlet merd for copepodittstadium, med lavere antall i behandlet merd, det samme ses ved visse tidspunkt for chalimus. Senere i forsøket kan det også ses økt mengde bevegelige stadier i behandlet merd.

Resultat vises i Tabell 5

Tabell 5 Oppsummert statistisk analyse av lusetall

			Copepodid	Chalimus I	Chalimus II	Pre-adult	Adult male	Adult female
2016	15.aug	D+0						
		D+8		☐		** / **		
	23.aug	D+14	- / **			** / -		
	29.aug	D+21			** / **	** / -		
	05.sep	D+28			- / **	- / **		
	12.sep	D+35	- / **			- / **		
	19.sep	D+42		- / **	** / **	- / **		
	26.sep	D+49						
	03.okt		☐ AGD treatment (4 hours) – Pen C1, C4, C5, P2 and P3.					
	17.okt	D+63				** / **		
	24.okt	D+70						- / **
	2017	12.des		AGD treatment (4 hours) – Pen C1, C4, C5, C8, P2, P6 and P7.				
16.jan			2x SLICE treatments – All pens					
		D+119				- / **		
		D+154		** / -		- / **		
30.jan		D+168				** / -		- / **
13.feb		D+182				- / **		** / -
27.feb		D+196				** / -		- / **
13.mar		D+210			** / -		** / -	** / -
03.apr		D+231			- / **		** / -	** / -
25.apr		D+253	- / **	- / **	- / **			** / -
15.mai		D+273		** / **		** / **		** / **
22.mai		D+280						

	Statistisk forskjell mellom kontroll og behandlet (p-value <0.05). Fordeling for kontroll ligger til høyre for fordeling av behandlet, mindre lus i behandlede merder.
	“Two-sided” statistisk test er ikke signifikant, men «one-sided» test er signifikant (p-verdi<0.05). Mindre lus i behandlede merder
	Ingen statistisk signifikant forskjell mellom kontroll og behandlede merder
	Statistisk signifikant forskjell mellom kontroll og behandlede merder (p-verdi <0.05). Fordeling for kontroll ligger til venstre for behandlede, det er mer lus i behandlede merder.
	Fordeling innen kontroll gruppen er forskjøvet mot venstre. Det er også en statistisk signifikant forskjell innen kontroll gruppen og/eller behandlet gruppe. Hvis gitte merd fjernes fra datasettet er ikke forskjellen signifikant
** / -	Statistisk signifikant forskjell innen kontrollgruppen
- / **	Statistisk signifikant forskjell innen behandlet gruppe
** / **	Statistisk forskjell innen både kontroll og behandlet gruppe

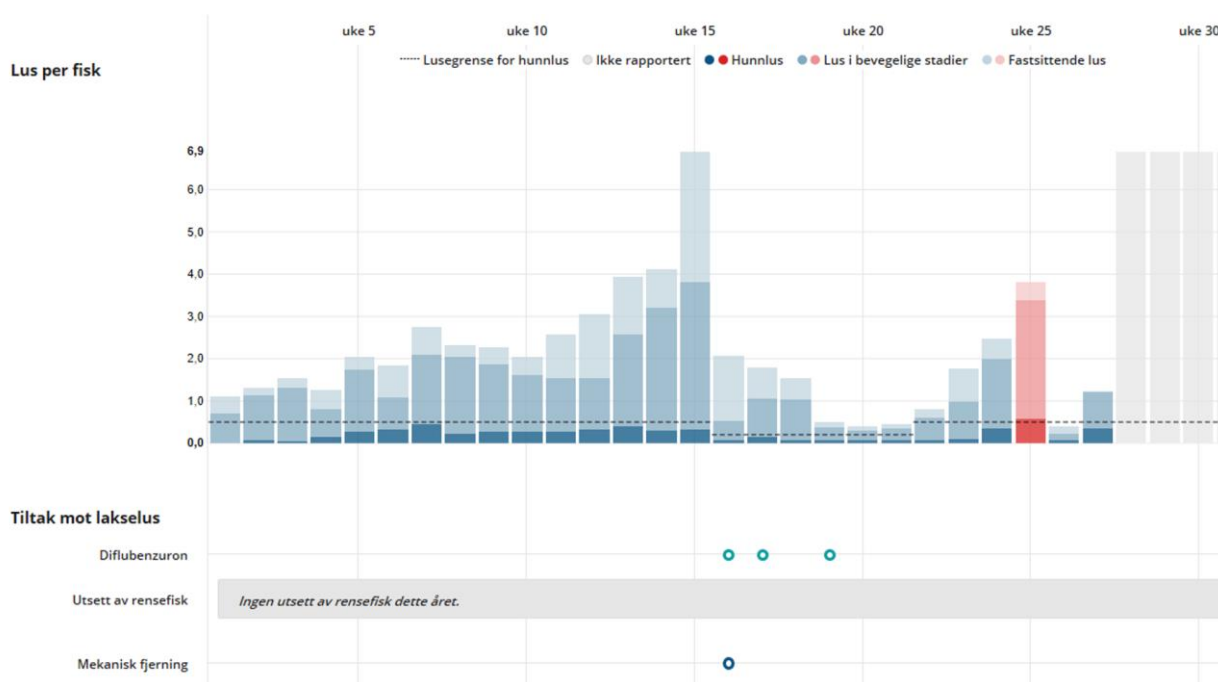
4.1.15 Statistisk analyse av lusetall (negativ binomial regresjonsanalyse)

Variabelen behandling er kun signifikant i to av modellene: for pre-adulte og for voksne hannlus, i disse modellene er verdien av $\beta > 1$ som betyr at det er mer av disse lusestadiene i merder med SPG gjerdet. Modellene har store svakheter, gyldigheten av disse resultatene er dermed tvilsomme. Beregninger er vist i vedlegg 4.

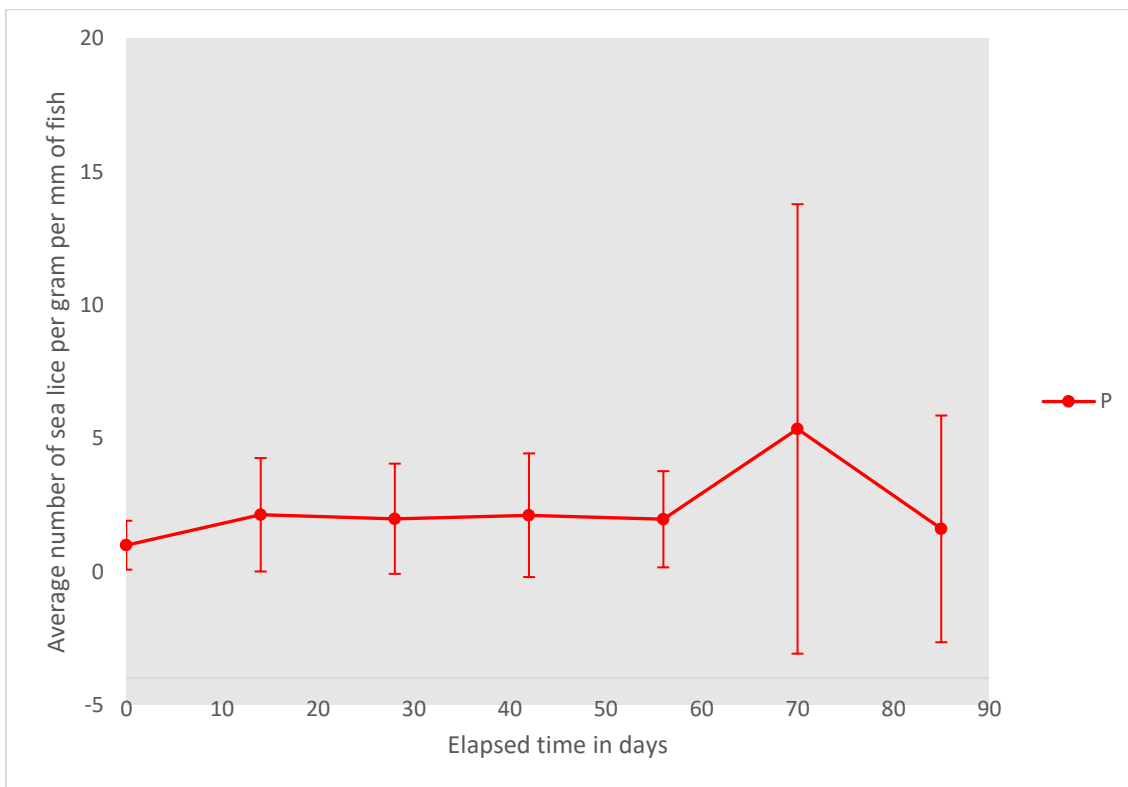
4.2 Bolaks (Skifteneset N.)

Ved Skifteneset N. er det SPG gjerde rundt hele anlegget, det er dermed ingen kontrollgruppe. For å finne sammenligningsgrunnlag er lusetall ved anlegget sammenlignet med naboanleggene Lindarholmen (28396) og Lyngnes (33337). Forekomst av ulike lusestadier er vist i figur 15. En ser markant reduksjon i luseforekomst etter diflubenzuron-behandling og mekanisk fjerning av lus. Inntil uke 25 er antall lus under behandlingsgrensen. Figur 16 og 17 viser henholdsvis gjennomsnitt lus/g/mm lus og copepodid ved anlegget talt av IRIS personell. Figur 18 viser gjennomsnitt lus per fisk (etter stadie). Figur 19 viser en sammenligning av lusetall mellom Skifteneset N, Lyngnes og Lindarholmen.

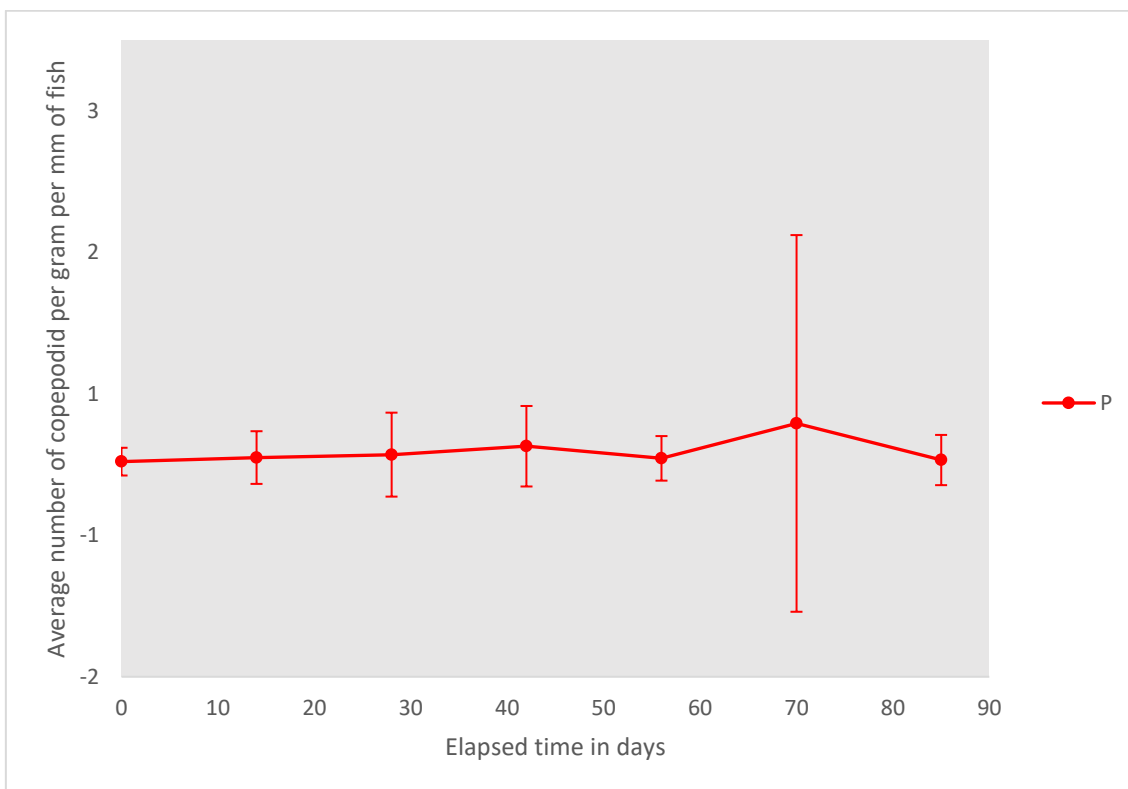
SFD rapporterer om store utfordringer med flere seksjoner av gjerdet på grunn av vanninntrengning i topptermineringen, vanninntrengning ble først påvist i april 2017 og lot seg kun påvise ved åpning av kappen. Fall i målt strømtrekk ble ifølge SFD registrert allerede like etter oppstart (rapportert til styringsgruppen april 2017), det er dermed lite hensiktsmessig å utføre statistisk analyse på dette datagrunnlaget.



Figur 15 Lus per fisk Skifteneset N. Behandlinger: mekanisk fjerning uke 16, medikamentell fôrbehandling (Diflubenzuron) uke 16, 17 og 19. (Kilde Barentswatch)



Figur 16 Gjennomsnitt lusetall/gram/mm fisk (IRIS tellinger for perioden 240117-250417)



Figur 17 Copepoditt per/g/mm fisk Skifteneset N (IRIS tellinger for perioden 240117-250417)

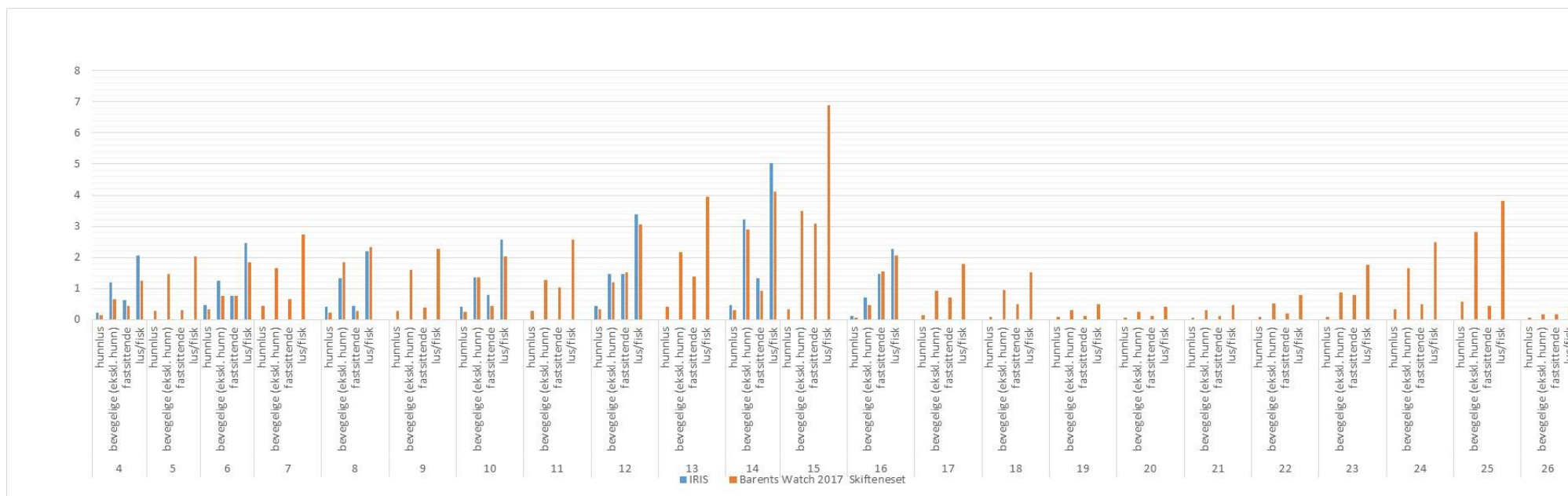


Figure 18 Oversikt over luseforekomst ved Skifteneset N. data fra IRIS tellinger og BarentsWatch. Behandlinger: mekanisk fjerning uke 16, medikamentell fôrbehandling (Diflubenzuron) uke 16, 17 og 19.

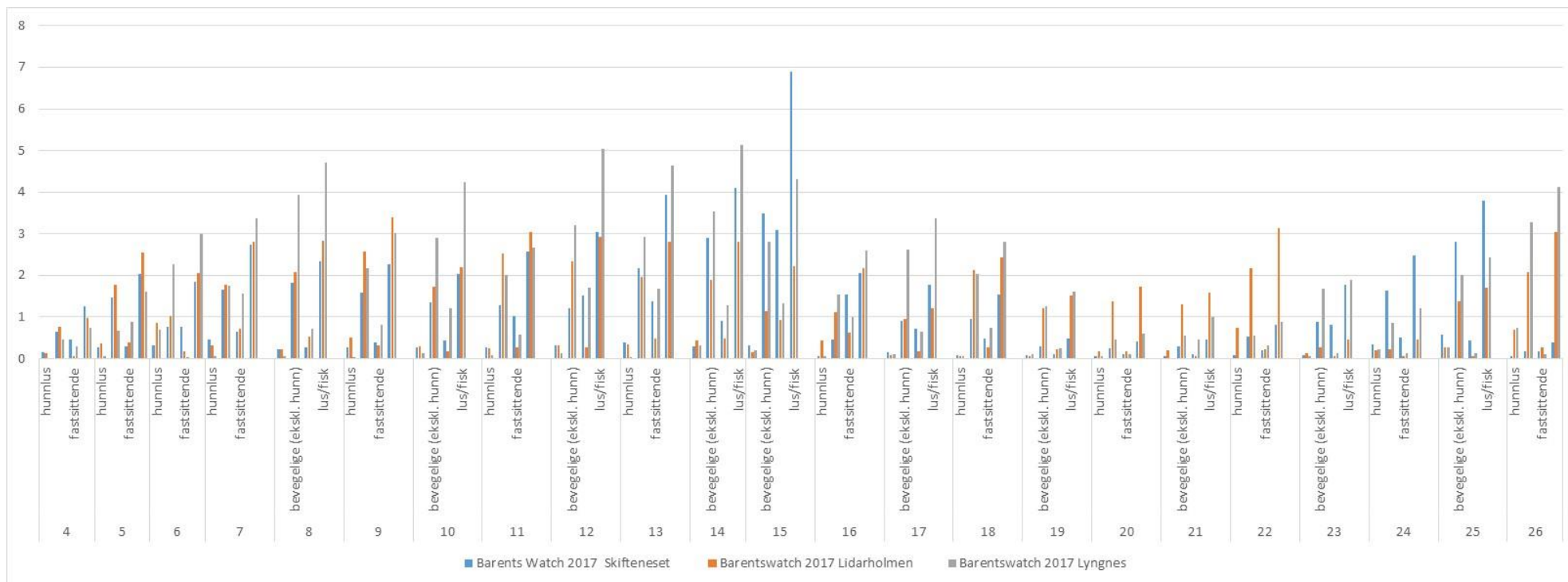


Figure 19 Oversikt over snitt luseforekomst per fisk ved Skifteneset N., Lyngnes og Linderholmen, data fra IRIS tellinger og Barentswatch, uke 4-26. Behandlinger Skifteneset N., mekanisk fjerning uke 16., medikamentell forbehandling (diflubenzuron) uke 16, 17 og 19. Behandlinger Linderholmen rensefisk uke 10, mekanisk fjerning uke 17, 23. Behandling Lyngnes mekanisk fjerning uke 16 medikamentell forbehandling (diflubenzuron) uke 16, 18.

5. Diskusjon

Ny teknologi krever en helhetlig verifisering for å sikre at systemet er teknisk robust og dermed bidrar til vedvarende redusert lusepåslag. Samtidig skal systemet være økonomisk, velferdsmessig og miljømessig forsvarlig i drift. Lakselus anses i dag som den mest akutte miljøutfordringen for næringen og et er stort fokus, både nasjonalt og internasjonalt, på utvikling av ikke-medikamentelle bekjempelsesstrategier. En hoveddriver for ikke medikamentelle-metoder er utfordringer knyttet til bruk av midler mot lakselus. Ny teknologi kan bidra til vekst i næringen og det foreligger p.t. en rekke preventive løsninger [6, 7, 11, 12], men ingen løsninger som baserer seg på bekjempelse basert på elektriske felt.

Generelt om forsøket

Det har vært forholdsvis krevende å trekke konklusjoner basert på datasettet. Oppdretter har sett seg nødt til å foreta tilleggsbehandlinger (mekanisk fjerning, medisinfôr, rensfisk), ikke alle merder behandles og det er dermed utfordrende å skille mellom effekt av denne behandlingen og gjerdet. Videre har det vært uker der telling utgikk grunnet dårlig vær eller mangel på kran/båt. Teknologiske utfordringer med SPG systemet gjorde at systemet ikke så ut til å fungere stabilt over tid og det har dermed blitt vanskelig å trekke klare svar. IRIS sin dokumentasjon av systemets funksjon ved Bolaks ble avsluttet i april 2017 og for Lerøy i mai 2017. Det er hensiktsmessig å avvente til et dokumentert teknisk stabilt system er utviklet, samt kontrollteknologi er tilgjengelig, før en eventuelt fortsetter arbeid med verifisering av effekt av SPG systemet på påslag av lus.

Teknologi

SPG systemet må kunne driftes slik at det tilfredsstillere strenge økonomisk krav, og bidrar til en økning av den miljømessige bærekraften av oppdrettsnæringen. Det har i løpet av forsøket vist seg å være utfordringer knyttet til drift av SPG systemet ved begge anleggene. Utfordringer består blant annet i

- Strømstans
- Vannlekkasje i fordelingslisten (tilkoplingene i toppterminering) (Bolaks, Skifteneset N)
- Ødelagte seksjoner (fysisk brudd)

Det varsles nå om strømbrudd ved gjerdene, men ikke per seksjon. Dersom strøm måles per seksjon vil en få sann-tids varsling om svikt. Det vil være en reduksjon i ledningsevnen over tid pga forandringer i elektrodematerialet, men det har ikke vært mulig å påvise hvor stor denne reduksjonen er.

På styringsgruppemøte 28.04.17, kom det frem at det har vært vanninntrengning i topptimering på SPG systemet installert i enkelte av seksjonene hos Bolaks (med aluminiumslist). I følge SFD har det vært et fall i strøm over tid ved Bolaks og dette kan ha skyldes vanninntrengning.

Rapport fra SFD vedrørende strømmålinger ble sendt til styringsgruppen i september 2017, disse resultatene samt hvilken parameter som er aktuelt å måle bør vurderes av relevant ekspertise. Det anses som sentralt å få på plass sann-tids overvåkingsystemer for gjerdet samt elektroder som er bestandig over tid. Tidligere forskning har fokusert på pulshyppighet og styrke, men en ser at det gjenstår et forskningsbehov knyttet til tilpasning av kappematerial og reduksjon i variasjon av ledningsevnen.

Lusetall

Basert på data fra Lerøy sitt anlegg (Buholmen) kan en i disse forsøkene ikke påvise noen signifikant effekt av gjerdet på lusetall. Ved visse tidspunkt tidlig i forsøksperioden kan en se en tendens til reduksjon i antall copepoditter i behandlet merd. Samtidig er det ved senere tidspunkt signifikant økte antall pre-adulte og voksne hannlus i behandlede merder. Det kan være utfordrende å telle lus, presisjon er både avhengig av teller, forhold ved flåten, værforhold og annet. Det synes nødvendig å validere systemet over lengre periode slik det opprinnelig var planlagt. Ettersom det har vært utfordrende å dokumentere et teknisk system er det p.t ikke hensiktsmessig å fortsette disse arbeidskrevende tellingene. Basert på disse forsøkene kan en ikke se noen effekt av gjerdet, men dersom en får kontroll på tekniske utfordringer kan en virkning ikke utelukkes.

Ved Bolaks sitt anlegg på Skiftenset N er det vanskelig å trekke konklusjon vedrørende virkning ettersom det ikke er kontrollmerder. Her forteller SFD om store utfordringer med flere seksjoner av gjerdet på grunn av vanninntrengning i topptimeringen, vanninntrengning ble først påvist i april 2017 og lot seg kun påvise ved åpning av kappen. Fall i målt strømtrekk ble ifølge SFD registrert allerede like etter oppstart (rapportert april 2017), det er dermed lite hensiktsmessig å utføre statistisk analyse på dette datagrunnlaget.

Fiskevelferd

Det er ingen påvisbar forskjell på vekt, lengde eller SGR mellom kontroll- og behandlede merder. Gitt avslutning av valideringsarbeid samt at fisk er utsatt for tilleggsbehandlinger er det ikke hensiktsmessig å foreta ytterligere målinger av velferdstatus slik det opprinnelig var planlagt.

Effekt av SPG gjerdet på lusefysiologi

Det er særdeles relevant å dokumentere histologisk om SPG systemet har en effekt på copepoditt-stadiet og chalimus stadier av lakselus. Gitt det videre utviklingsarbeidet som skal foretas vil slike studier eventuelt kunne foretas i fremtiden.

6. Konklusjon

Tekniske utfordringer med drift av systemet gjør at en på nåværende tidspunkt ikke kan trekke konklusjoner vedrørende effekt av SPG systemet på lus. De resultatene som foreligger til nå, da særlig basert på validering av gjerdet hos Lerøy (Buholmen) tyder på at gjerdet i sin nåværende utgave ikke kan defineres som et effektivt preventivt middel for å bekjempe lus i kommersielle anlegg.

7. Hovedfunn

- Tekniske utfordringer med drift av systemet gjør at en på nåværende tidspunkt ikke kan trekke konklusjoner vedrørende effekt av SPG systemet på lusepåslag.
- De resultatene som foreligger fra dette prosjektet til nå tyder på at gjerdet i sin nåværende utgave ikke kan defineres som et effektivt preventivt middel for å bekjempe lus i kommersielle anlegg.
- Det er hensiktsmessig å avvente til et dokumentert teknisk stabilt system er utviklet, samt kontrollteknologi er tilgjengelig, før en eventuelt fortsetter arbeid med verifisering av effekt av SPG systemet på påslag av lus.

8. Leveranser

Prosjektet avsluttes tidlig etter avtale med FHF og styringsgruppen. Tidlig avslutning tilsier at ikke alle planlagte leveranser er møtt.

Fullførte

- L1: Dokumentasjon av effekt av SPG-systemet på lusepåslag
- L2: Sluttrapport og kontinuerlig formidling.

9. Referanser

1. Gaulin G. (2015) Norges blå åker i voksesmerter. Aftenposten innsikt (6).
2. Taranger G.L., Karlsen Ø., Bannister R.J., Glover K.A., Husa V., Karlsbakk E., Kvamme B.O., Boxaspen K. K., Bjørn P.A., Finstad B., Madhun A.S., Morton H.C., Svåsand T. (2015) Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming ICES Journal of Marine Science 72 (3) 997-1021
3. Anon (2015) Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2014 Fisken og havet, særnummer 2–2015
4. Anon (2012) Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. Rapport fra en arbeidsgruppe oppnevnt av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA)
5. Bornø G. & Lie Linaker, M. (red) Fiskehelse rapporten 2014, Harstad: Veterinærinstituttet 2015
6. Nilsen A., Vale Nielsen K., Biering E., Bergheim A. (2017) Effective protection against sea lice during the production of Atlantic salmon in floating enclosures Aquaculture 466 41-50
7. Frank K. & Lien M. (2015) Permaskjørt og merdmiljø. Rapport A26686. SINTEF Fiskeri og havbruk AS
8. Svåsand T., Karlsen Ø., Kvamme B., Stien L.H., Taranger G.L., Boxaspen K.K. (2016) Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2016. Fisken og havet, særnummer 2-2016.
9. Ingvarsdottir A. & Provan F. (2012) SPG protection of salmon in sea cages. IRIS rapport 2012/106
10. Provan F. & Ravagnan E. (2016) Status Rapport: Seafarm Pulse Guard: Beskyttelse av laks i oppdrettsanlegg mot lakselus (Brukerstyrt innovasjonsprosjekt - HAVBRUK).
11. Næs M., Grøntvedt R.N., Kristoffersen A.B., Johansen B. (2014) Feltutprøving av planktonduk som skjerming rundt oppdrettsmerder for å redusere påslag av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*). Faglig rapport 4.mars 2014.

12. Oppedal F., Demptster T., Stien L.H. (2016) Snorkelmerd:
Produksjonseffektivitet, adferd og velferd. Sluttrapport FHF prosjekt 90884.
Rapport fra Havforskningen 9-2016, 36s. ISSN1893-4536

10. Vedlegg

Vedlegg 1 Lerøy (Buholmen) gjennomsnitt lus per fisk i hver merd august 2016-januar 2017.

Date	Pen	Per fish						Total
		Copipodid	Chalimus 1	Chalimus 2	Preadult	Adult Male	Adult Female	
15.08.2016	1	0,17	0,00	0,07	0,10	0,03	0,00	0,37
	2	0,07	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23.08.2016	1	0,20	0,17	0,17	0,40	0,00	0,00	0,93
	2	0,03	0,23	0,23	0,67	0,00	0,00	1,17
	3	0,13	0,23	0,07	0,00	0,00	0,00	0,43
	4	0,20	0,33	0,20	0,03	0,00	0,00	0,77
	5	0,20	0,33	0,03	0,10	0,00	0,00	0,67
29.08.2016	1	0,13	0,20	0,33	0,27	0,00	0,00	0,93
	2	0,00	0,23	0,13	0,30	0,03	0,00	0,70
	3	0,17	0,13	0,27	0,37	0,00	0,00	0,93
	4	0,20	0,43	0,67	0,37	0,00	0,00	1,67
	5	0,10	0,30	0,50	0,97	0,00	0,00	1,87
05.09.2016	1	0,03	0,07	0,10	0,13	0,00	0,00	0,33
	2	0,03	0,10	0,20	0,17	0,00	0,00	0,50
	3	0,13	0,03	0,20	0,03	0,00	0,00	0,40
	4	0,03	0,00	0,13	0,03	0,00	0,03	0,23
	5	0,13	0,03	0,40	0,97	0,07	0,03	1,63
	6	0,07	0,00	0,00	0,13	0,00	0,07	0,27
	8	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07
12.09.2016	1	0,23	0,13	0,13	0,07	0,00	0,00	0,57
	2	0,13	0,03	0,07	0,07	0,00	0,00	0,30
	3	0,03	0,10	0,23	0,07	0,00	0,00	0,43
	4	0,03	0,10	0,07	0,10	0,00	0,00	0,30
	5	0,17	0,07	0,30	0,10	0,00	0,00	0,63
	6	0,07	0,17	0,50	0,33	0,00	0,00	1,07
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	8	0,10	0,10	0,20	0,03	0,00	0,00	0,43
19.09.2016	1	0,10	0,07	0,03	0,13	0,00	0,00	0,33
	2	0,03	0,20	0,03	0,27	0,00	0,00	0,53
	3	0,00	0,10	0,13	0,20	0,00	0,00	0,43
	4	0,07	0,10	0,00	0,13	0,00	0,00	0,30
	5	0,10	0,10	0,20	0,17	0,00	0,00	0,57
	6	0,20	0,30	0,23	1,47	0,00	0,03	2,23
	7	0,03	0,10	0,10	0,13	0,00	0,00	0,37
	8	0,10	0,23	0,07	0,20	0,00	0,00	0,60
26.09.2015	1	0,07	0,20	0,03	0,13	0,00	0,00	0,43
	2	0,03	0,03	0,10	0,03	0,00	0,00	0,20
	3	0,03	0,10	0,20	0,00	0,00	0,00	0,33
	4	0,17	0,10	0,30	0,20	0,00	0,00	0,77
	5	0,17	0,10	0,10	0,13	0,00	0,00	0,50
	6	0,03	0,53	1,07	1,00	0,03	0,00	2,67
	7	0,07	0,27	0,20	0,03	0,00	0,00	0,57

	8	0,03	0,13	0,07	0,00	0,00	0,00	0,23
03.10.2016	1	0,07	0,23	0,33	0,27	0,03	0,00	0,93
	2	0,03	0,13	0,40	0,30	0,00	0,00	0,87
	3	0,00	0,10	0,13	0,03	0,00	0,00	0,27
	4	0,00	0,23	0,30	0,20	0,00	0,00	0,73
	5	0,03	0,20	0,27	0,10	0,00	0,00	0,60
	6	0,17	0,87	1,23	1,50	0,07	0,03	3,87
	7	0,13	0,10	0,07	0,13	0,00	0,00	0,43
	8	0,00	0,17	0,20	0,47	0,00	0,03	0,87
17.10.2016	1	0,03	0,07	0,10	0,03	0,00	0,03	0,27
	2	0,03	0,03	0,20	0,03	0,00	0,03	0,33
	3	0,03	0,03	0,03	0,17	0,00	0,03	0,30
	4	0,00	0,07	0,13	0,33	0,00	0,00	0,53
	5	0,03	0,03	0,03	0,50	0,00	0,00	0,60
	6	0,03	0,23	0,23	1,03	0,00	0,20	1,73
	7	0,07	0,10	0,07	0,17	0,00	0,00	0,40
	8	0,00	0,03	0,17	0,10	0,00	0,00	0,30
24.10.2016	1	0,00	0,00	0,07	0,10	0,03	0,00	0,20
	2	0,00	0,20	0,10	0,13	0,00	0,00	0,43
	3	0,00	0,03	0,07	0,13	0,10	0,13	0,47
	4	0,00	0,03	0,07	0,03	0,00	0,00	0,13
	5	0,00	0,07	0,03	0,20	0,00	0,00	0,30
	6	0,00	0,00	0,04	0,39	0,09	0,30	0,83
	7	0,03	0,07	0,20	0,23	0,00	0,00	0,53
	8	0,03	0,03	0,03	0,10	0,00	0,00	0,20
12.12.2016	1	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,06	0,28
	2	0,00	0,03	0,00	0,17	0,13	0,20	0,53
	3	0,00	0,03	0,00	0,07	0,03	0,03	0,17
	4	0,00	0,00	0,07	0,10	0,00	0,03	0,20
	5	0,03	0,07	0,03	0,10	0,00	0,00	0,23
	6	0,00	0,00	0,03	0,50	0,07	0,13	0,73
	7	0,00	0,07	0,07	0,40	0,07	0,17	0,77
	8	0,00	0,07	0,07	0,10	0,00	0,10	0,33
16.01.2017	1	0,00	0,03	0,07	0,07	0,00	0,00	0,17
	2	0,03	0,00	0,03	0,07	0,07	0,17	0,37
	3	0,03	0,00	0,10	0,00	0,07	0,10	0,30
	4	0,07	0,07	0,10	0,07	0,03	0,13	0,47
	5	0,00	0,20	0,03	0,07	0,03	0,07	0,40
	6	0,07	0,00	0,07	0,23	0,03	0,13	0,53
	7	0,03	0,00	0,00	0,30	0,00	0,23	0,57
	8	0,03	0,00	0,07	0,03	0,00	0,00	0,13
30.01.2017	1	0,03	0,07	0,27	0,17	0,03	0,03	0,60
	2	0,07	0,29	0,46	0,39	0,11	0,32	1,64
	3	0,03	0,13	0,10	0,20	0,10	0,17	0,73
	4	0,17	0,30	0,37	0,60	0,03	0,47	1,93
	5	0,03	0,20	0,23	0,13	0,10	0,13	0,83
	6	0,00	0,17	0,04	0,29	0,08	0,13	0,71
	7	0,13	0,10	0,17	0,30	0,10	0,13	0,93
	8	0,03	0,07	0,07	0,10	0,00	0,03	0,30

Vedlegg 2 Lerøy (Skifteneset N) gjennomsnitt lus per fisk i hver merd februar 2017-mai 2017.

Date	Pen	Per fish									
		Copipodid	Chalimus 1	Chalimus 2	Preadult Male 1	Preadult Female 1	Preadult Male 2	Preadult Female 2	Adult Male	Adult Female	Total Lice
13.02.2017	2	0,17	0,13	0,23	0,17	0,13	0,13	0,10	0,03	0,17	1,27
	3	0,03	0,17	0,23	0,80	0,17	0,27	0,10	0,07	0,13	1,97
	6	0,03	0,23	0,20	0,13	0,13	0,30	0,17	0,13	0,23	1,57
	7	0,17	0,37	0,10	0,37	0,30	0,20	0,10	0,03	0,13	1,77
	1	0,07	0,13	0,10	0,13	0,13	0,07	0,03	0,10	0,10	0,87
	4	0,13	0,20	0,20	0,30	0,17	0,13	0,13	0,07	0,27	1,60
	5	0,07	0,20	0,17	0,20	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,83
	8	0,10	0,30	0,30	0,10	0,10	0,17	0,17	0,00	0,00	1,23
27.02.2017	2	0,00	0,13	0,37	0,20	0,17	0,63	0,20	0,03	0,10	1,83
	3	0,10	0,13	0,27	0,37	0,30	0,40	0,33	0,00	0,10	2,00
	6	0,10	0,13	0,10	0,30	0,17	0,57	0,10	0,03	0,40	1,90
	7	0,10	0,20	0,20	0,37	0,30	0,33	0,07	0,03	0,03	1,63
	1	0,17	0,17	0,17	0,23	0,20	0,17	0,17	0,03	0,17	1,47
	4	0,17	0,20	0,27	0,43	0,33	0,37	0,30	0,00	0,10	2,17
	5	0,17	0,07	0,33	0,33	0,27	0,40	0,07	0,00	0,07	1,70
	8	0,13	0,23	0,20	0,07	0,17	0,17	0,07	0,00	0,07	1,10
13.03.2017	2	0,17	0,47	0,27	0,27	0,13	0,27	0,27	0,07	0,17	2,07
	3	0,20	0,33	0,50	0,13	0,10	0,30	0,13	0,03	0,10	1,83
	7	0,10	0,30	0,73	0,20	0,20	0,30	0,30	0,23	0,33	2,70
	1	0,13	0,27	0,57	0,10	0,23	0,17	0,17	0,03	0,07	1,73
	4	0,10	0,13	0,33	0,17	0,17	0,33	0,13	0,03	0,27	1,67
	5	0,27	0,17	0,50	0,10	0,03	0,23	0,13	0,03	0,13	1,60
	8	0,17	0,27	0,73	0,23	0,13	0,07	0,20	0,03	0,03	1,87
03.04.2017	2	0,03	0,73	0,83	0,13	0,10	0,30	0,20	0,17	0,47	2,97
	3	0,10	0,97	0,83	0,30	0,27	0,37	0,13	0,17	0,17	3,30
	7	0,17	0,87	1,50	0,43	0,13	0,23	0,13	0,07	0,33	3,87

	1	0,07	0,97	0,80	0,30	0,37	0,13	0,10	0,00	0,10	2,83
	4	0,13	0,60	0,97	0,70	0,23	0,43	0,17	0,03	0,33	3,60
	5	0,10	0,60	0,80	0,50	0,20	0,30	0,20	0,20	0,40	3,30
	8	0,03	0,97	1,23	0,63	0,23	0,37	0,13	0,03	0,07	3,70
10.04.2017	7	0,07	0,97	1,47	0,30	0,43	0,53	0,20	0,13	0,20	4,30
	5	0,07	0,43	0,97	0,67	0,37	0,30	0,27	0,03	0,17	3,27
	8	0,13	0,47	1,03	0,23	0,50	0,30	0,17	0,00	0,03	2,87
25.04.2017	2	0,03	0,20	0,13	0,30	0,23	0,33	0,13	0,03	0,27	1,67
	3	0,07	0,83	0,40	0,30	0,50	0,47	0,37	0,20	0,40	3,53
	6	0,00	0,27	0,30	0,33	0,57	0,13	0,20	0,00	0,17	1,97
	7	0,27	0,60	0,87	0,33	0,27	0,57	0,30	0,20	0,10	3,50
	1	0,13	0,37	0,50	0,27	0,10	0,07	0,13	0,00	0,00	1,57
	4	0,03	0,27	0,20	0,43	0,13	0,27	0,13	0,03	0,20	1,70
	5	0,27	0,63	0,67	0,37	0,27	0,30	0,20	0,23	0,03	2,97
	8	0,11	0,26	0,42	0,42	0,26	0,32	0,63	0,11	0,21	2,74
15.05.2017	2	0,03	0,27	0,70	0,50	0,30	1,47	0,43	0,00	1,27	4,97
	3	0,00	0,52	0,57	1,00	0,57	0,52	0,33	0,00	0,52	4,05
	6	0,03	0,30	0,57	0,47	0,40	0,37	0,20	0,00	0,40	2,73
	7	0,20	0,87	1,00	1,13	0,90	1,90	0,87	0,00	0,80	7,67
	1	0,13	1,75	0,88	1,50	1,00	0,75	0,50	0,13	0,00	6,63
	4	0,23	0,30	0,73	0,37	0,37	0,53	0,17	0,00	0,13	2,83
	5	0,03	0,63	0,63	1,10	0,70	1,40	0,40	0,03	0,43	5,37
	8	0,07	0,75	0,82	1,11	0,96	0,96	0,75	0,00	0,54	5,96
22.05.2017	2	0,10	0,30	0,60	0,13	0,27	0,17	0,00	0,03	0,17	1,77
	6	0,20	0,50	0,80	0,37	0,30	0,47	0,43	0,13	0,27	3,47
	1	0,23	0,43	1,30	0,70	0,37	0,90	0,63	0,13	0,57	5,27
	4	0,23	0,63	0,83	0,77	0,40	0,57	0,33	0,10	0,43	4,30

Vedlegg 3 Bolaks (Skifteneset N) Gjennomsnitt lus per fisk i hver merd

Date	Pen	Per fish						
		Copipodid	Chalimus 1	Chalimus 2	Preadult	Adult Male	Adult Female	Total Lice
24.01.2017	2	0,00	0,20	0,17	0,50	0,20	0,23	1,30
	4	0,03	0,30	0,57	1,67	0,50	0,37	3,43
	5	0,10	0,17	0,33	0,57	0,13	0,13	1,43
	7	0,00	0,25	0,50	1,00	0,50	0,00	2,25

Date	Pen	Per fish									
		Copipodid	Chalimus 1	Chalimus 2	Preadult Male 1	Preadult Female 1	Preadult Male 2	Preadult Female 2	Adult Male	Adult Female	Total Lice
07.02.2017	2	0,14	0,31	0,48	0,45	0,10	0,62	0,14	0,07	0,28	2,59
	4	0,07	0,40	0,30	0,67	0,23	0,37	0,07	0,30	0,73	3,13
	5	0,07	0,20	0,50	0,23	0,37	0,47	0,23	0,23	0,47	2,77
	7	0,00	0,17	0,37	0,17	0,13	0,20	0,13	0,17	0,27	1,60
	9	0,13	0,13	0,57	0,30	0,13	0,27	0,10	0,10	0,53	2,27
21.02.2017	2	0,03	0,07	0,13	0,57	0,27	0,70	0,27	0,10	0,47	2,60
	4	0,00	0,13	0,40	0,13	0,13	0,67	0,37	0,23	0,53	2,60
	5	0,10	0,27	0,20	0,23	0,23	0,37	0,37	0,07	0,17	2,00
	7	0,07	0,13	0,23	0,07	0,17	0,27	0,13	0,07	0,30	1,43
	9	0,17	0,07	0,23	0,27	0,03	0,60	0,20	0,17	0,53	2,27
07.03.2017	2	0,17	0,30	0,10	0,57	0,17	0,53	0,40	0,00	0,43	2,67
	4	0,23	0,17	0,30	0,27	0,27	0,70	0,27	0,03	0,57	2,80
	5	0,47	0,23	0,40	0,33	0,23	0,17	0,23	0,03	0,23	2,33
	7	0,23	0,47	0,33	0,20	0,20	0,30	0,13	0,00	0,37	2,23
	9	0,13	0,23	0,17	0,47	0,43	0,63	0,27	0,00	0,50	2,83
21.03.2017	2	0,07	0,50	0,77	0,87	0,27	0,87	0,10	0,27	0,40	4,10
	4	0,17	0,67	0,90	0,20	0,13	0,67	0,13	0,23	0,53	3,63
	5	0,10	0,43	1,20	0,23	0,10	0,23	0,17	0,07	0,07	2,60
	7	0,03	0,30	0,63	0,13	0,30	0,40	0,03	0,40	0,47	2,70
	9	0,13	0,63	0,80	0,20	0,20	0,40	0,17	0,60	0,70	3,83

04.04.2017	2	0,13	0,20	0,07	0,87	0,83	0,23	0,07	0,00	0,23	2,63
	4	0,07	0,20	0,07	0,73	0,40	0,70	0,37	0,03	0,30	2,87
	5	0,30	0,83	0,37	1,33	1,43	1,13	0,43	0,03	0,47	6,33
	7	0,60	1,27	0,80	1,60	1,67	0,97	0,40	0,00	0,67	7,97
	9	0,40	1,07	0,33	1,13	0,80	0,80	0,10	0,07	0,63	5,33
19.04.2017	2	0,03	0,50	0,43	0,07	0,07	0,17	0,07	0,00	0,07	1,40
	4	0,00	0,60	1,00	0,17	0,00	0,00	0,13	0,00	0,07	1,97
	5	0,03	0,80	1,53	0,30	0,17	0,13	0,10	0,00	0,20	3,27
	7	0,00	0,13	0,53	0,27	0,27	0,23	0,07	0,00	0,13	1,63
	9	0,17	0,37	1,13	0,50	0,50	0,27	0,07	0,00	0,13	3,13

Vedlegg 4 Statistisk analyse

Generalised mixed models

These models are implemented under the software R.

The time is not in days anymore but 1 unit for the variable Time equals to 2 weeks (14 days).

a. GLM for the copepodid stage

The model with the lowest BIC (second best AIC) is the following:

$$\log(\text{copepodid}) \sim \beta_0 + \beta_1 \text{Time} + \beta_2 \text{Water temperature} + \beta_3 \text{Time} * \text{Water temperature} + \gamma \text{Pen}$$

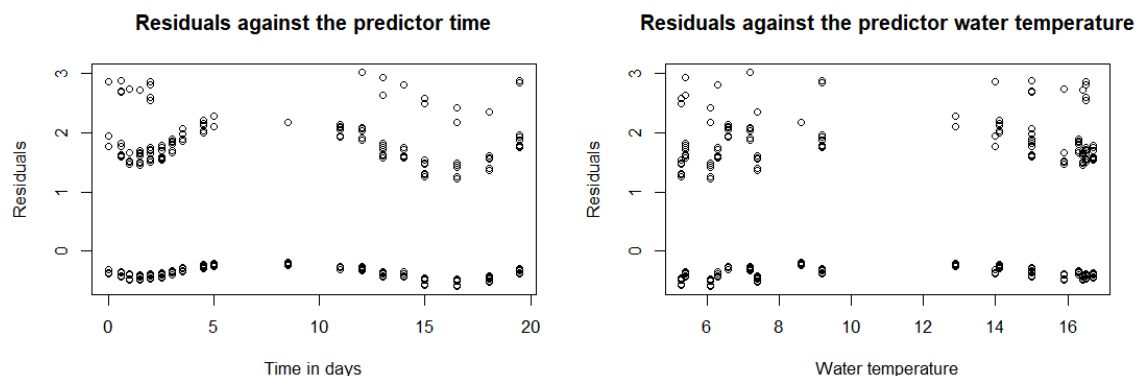
Source	β	Z value	p-value	Exp(β)
(Intercept)	-7.730	-9.562	0.000	0.001
Time	0.497	7.536	0.000	1.644
Water temperature	0.354	6.591	0.000	1.425
Time * Water temperature	-0.045	-7.292	0.000	0.956

The variable treatment is not appearing in the model with the lowest BIC and hence is not significant. The treatment is not influencing the amount of copepodid.

As time and water temperature increase, the amount of copepodid increase.

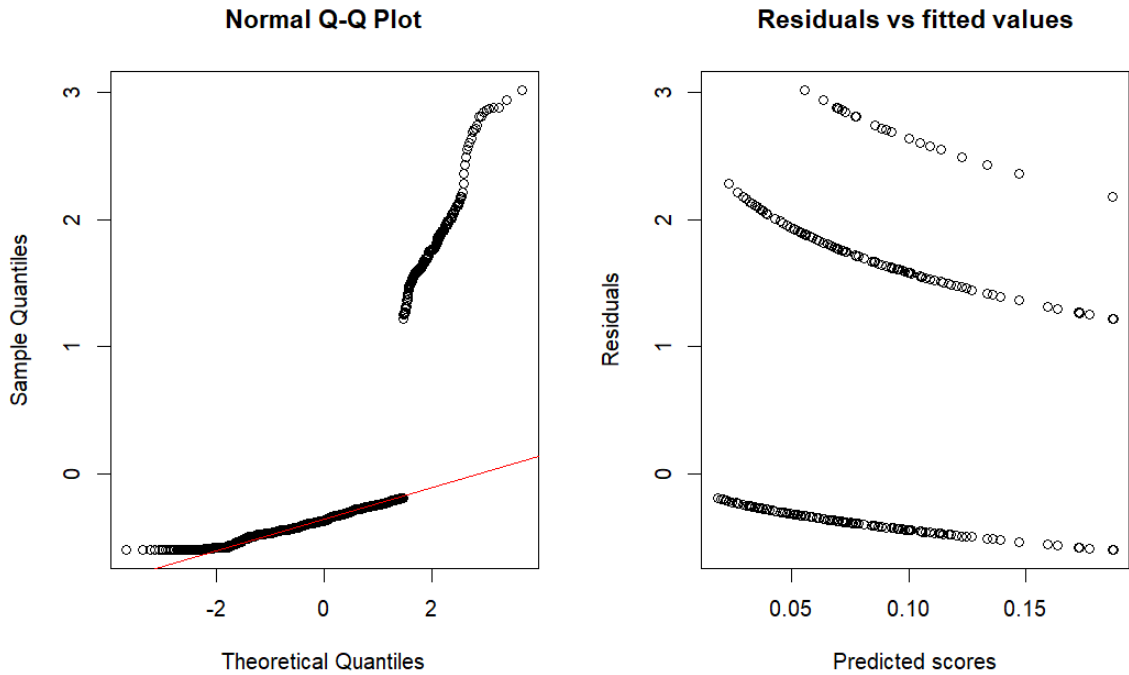
Validity of the model:

Scatter plots of residuals against predictors:



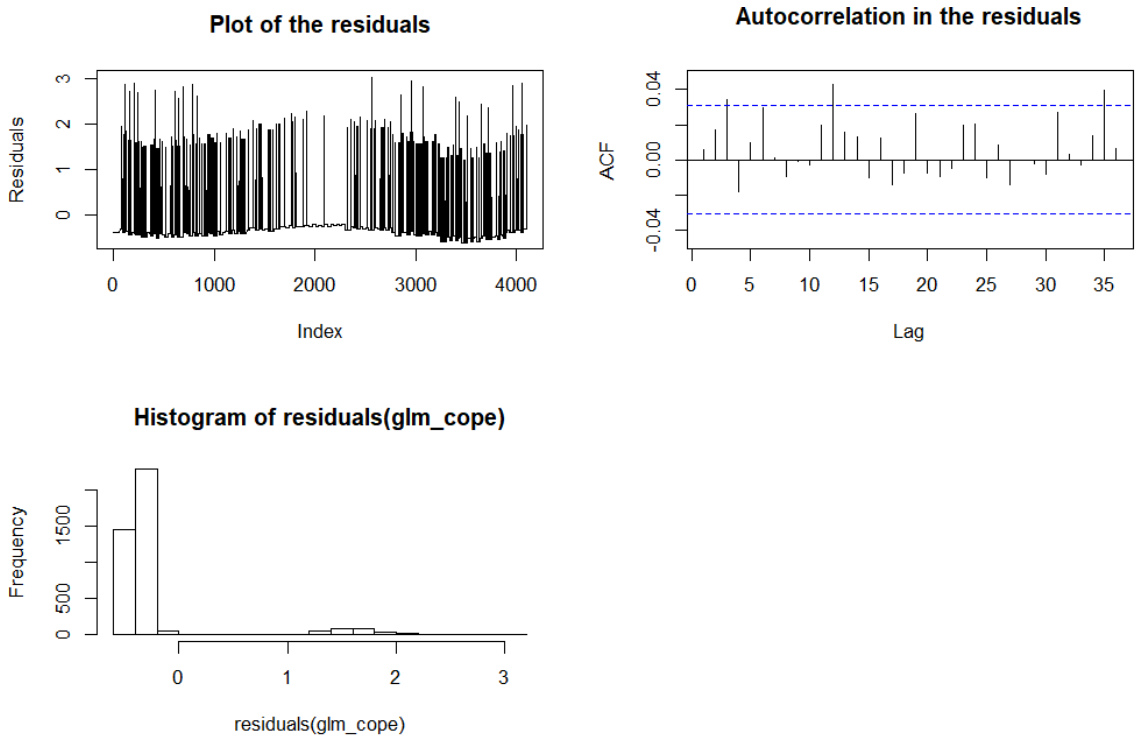
- Against time, residuals are not homogenous and variate over time. It suggests that the model is under estimating the amount of copepodid at the middle of the experiment.
- Against water temperature, residuals are not totally homogenous.

QQ-plot & residuals vs fitted values:



- QQ plot, the first group of residuals tends to a normal distribution, but there is a second group which don't follow the normal distribution.
- Residuals vs fitted values, there are three curved lines which is expected for count data and log-links.

Autocorrelation of the residuals:



- On the left graph, there are many outliers with very high values. On the right side, the autocorrelation plot shows that the model has captured quite well the patterns in the data, although there are some left in the residuals (3 significant peaks).

b. GLM for the chalimus I stage

The model with the lowest BIC is the following:

$$\log(\text{copedodid}) \sim \beta_0 + \beta_1 \text{Time} + \beta_2 \text{Ratio} + \beta_3 \text{Water temperature} + \beta_4 \text{Time} * \text{Ratio} + \beta_5 \text{Time} * \text{Water temperature} + \gamma \text{Pen}$$

Source	β	Z value	p-value	Exp(β)
(Intercept)	-9.868	-15.420	0.000	0.0001
Time	0.045	13.570	0.000	1.046
Ratio	0.573	4.208	0.001	1.774
Water temperature	0.475	12.461	0.000	1.608
Time* Ratio	-0.003	-4.441	0.000	0.997
Time * Water temperature	-0.003	-10.415	0.000	0.997

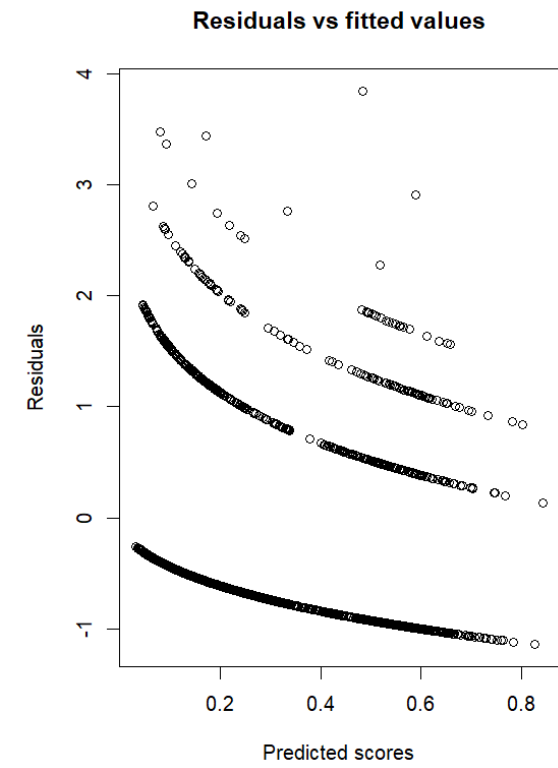
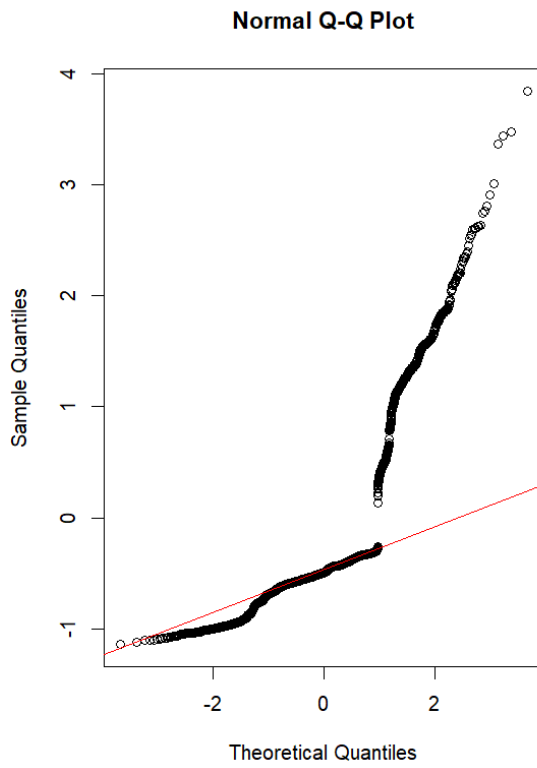
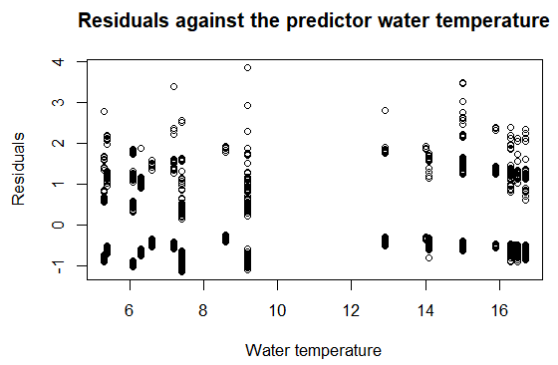
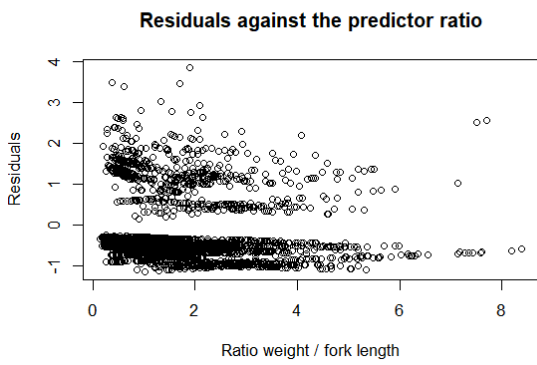
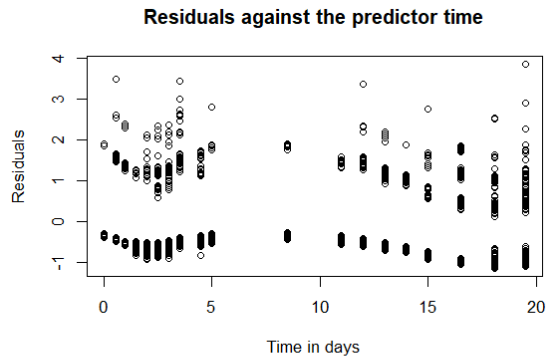
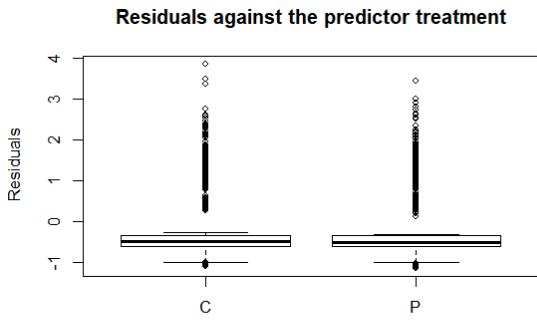
The model with the lowest AIC is the following:

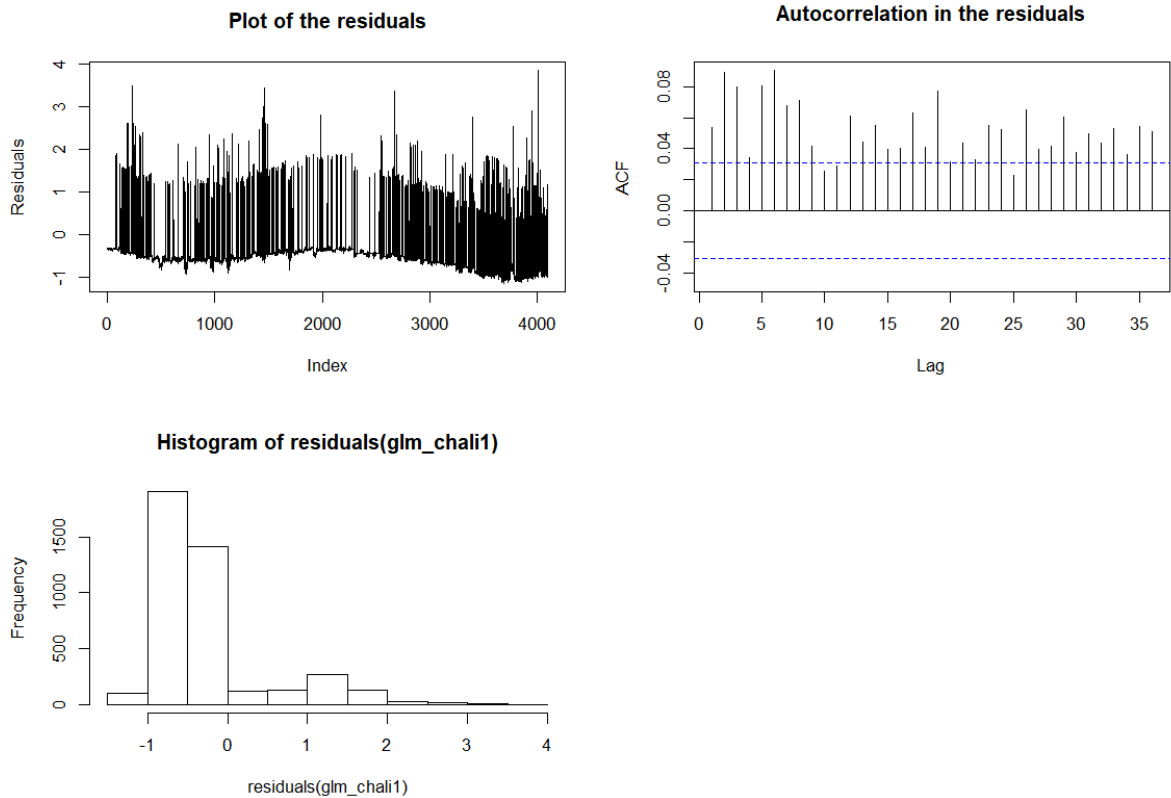
$$\log(\text{copedodid}) \sim \beta_0 + \beta_1 \text{Treatment} + \beta_2 \text{Time} + \beta_3 \text{Ratio} + \beta_4 \text{Water temperature} + \beta_5 \text{Treatment} * \text{Time} + \beta_6 \text{Treatment} * \text{Ratio} + \beta_7 \text{Time} * \text{Ratio} + \beta_8 \text{Time} * \text{Water temperature} + \beta_9 \text{Ratio} * \text{Water temperature} + \gamma \text{Pen}$$

Source	β	Z value	p-value	Exp(β)
(Intercept)	-9.528	-13.065	0.000	0.0001
Treatment	0.119	0.755	0.450	
Time	0.043	13.111	0.000	1.044
Ratio	0.474	1.814	0.070	
Water temperature	0.446	10.012	0.000	1.562
Treatment * Time	0.002	1.902	0.057	
Treatment * Ratio	-0.245	-2.834	0.005	0.783
Time * Ratio	-0.002	-3.381	0.001	0.998
Time * Water temperature	-0.003	-10.590	0.000	0.997
Ratio * Water temperature	0.027	1.493	0.135	

In the first model, the variable treatment doesn't appear and in the second model, it is not significant. Therefore, the treatment is not having an effect.

In the second model, the interaction term *Treatment * Ratio* is significant. Even so the variable *Treatment* alone is not significant, its associated odds ratio can be calculated, $\exp(\beta)=1.126$. The interaction term has an odd-ratio inferior to 1 which means that as the variable ratio increases, the odd-ratio associated with treatment decreases.





c. **GLM for the chalimus II stage**

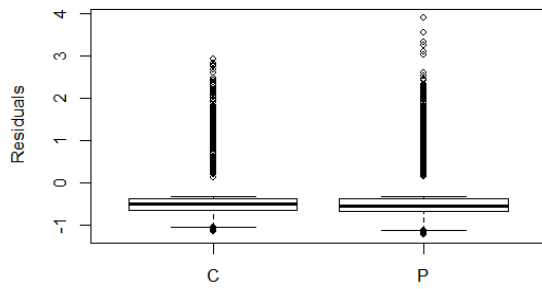
The model with the lowest BIC and AIC is the following:

$$\log(\text{copedodid}) \sim \beta_0 + \beta_1 \text{Time} + \beta_2 \text{Ratio} + \beta_3 \text{Water temperature} + \beta_4 \text{Time} * \text{Ratio} + \beta_5 \text{Time} * \text{Water temperature} + \beta_6 \text{Water temperature} * \text{Ratio} + \gamma \text{Pen}$$

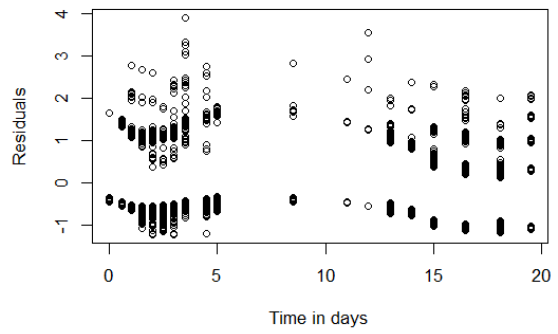
Source	β	Z value	p-value	$\text{Exp}(\beta)$
(Intercept)	-8.291	-12.637	0.000	0.0003
Time	0.619	14.425	0.000	1.857
Ratio	-0.649	-1.430	0.153	
Water temperature	0.390	9.659	0.000	1.477
Time* Ratio	-0.035	-2.091	0.037	0.966
Time * Water temperature	-0.044	-11.930	0.000	0.957
Water temperature * ratio	0.150	4.733	0.000	1.162

The variable treatment is not included in the model with the lowest AIC and BIC. Therefore. The treatment is not having an effect on the chalimus II.

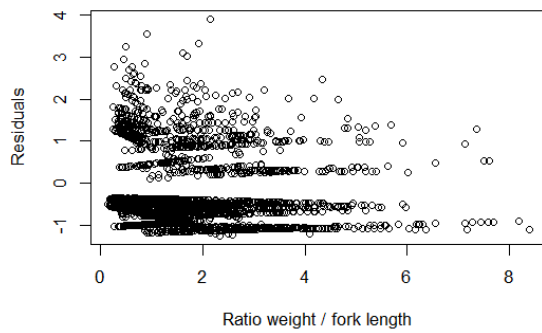
Residuals against the predictor treatment



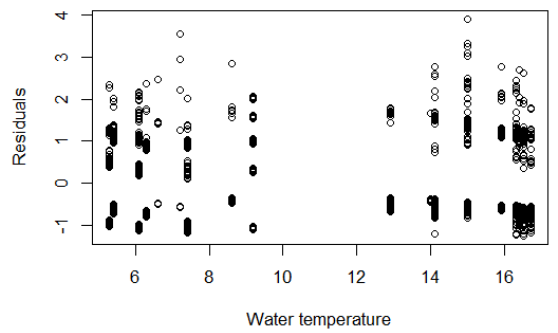
Residuals against the predictor time



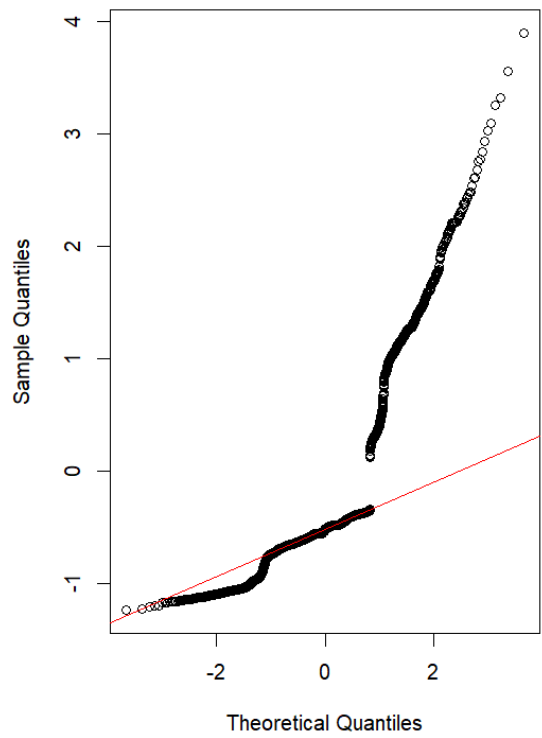
Residuals against the predictor ratio



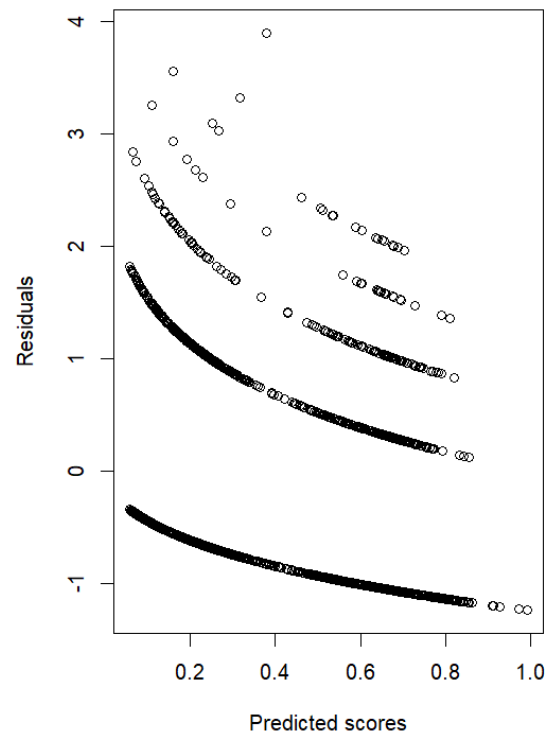
Residuals against the predictor water temperature

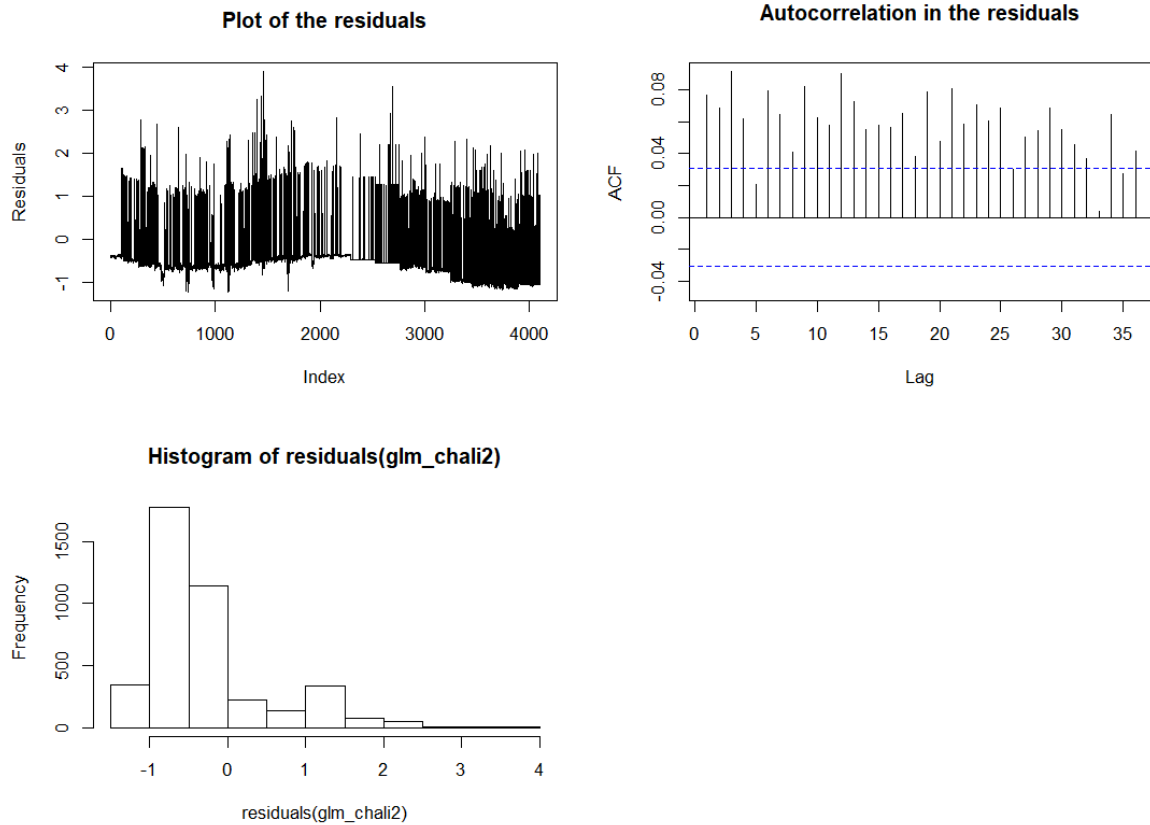


Normal Q-Q Plot



Residuals vs fitted values





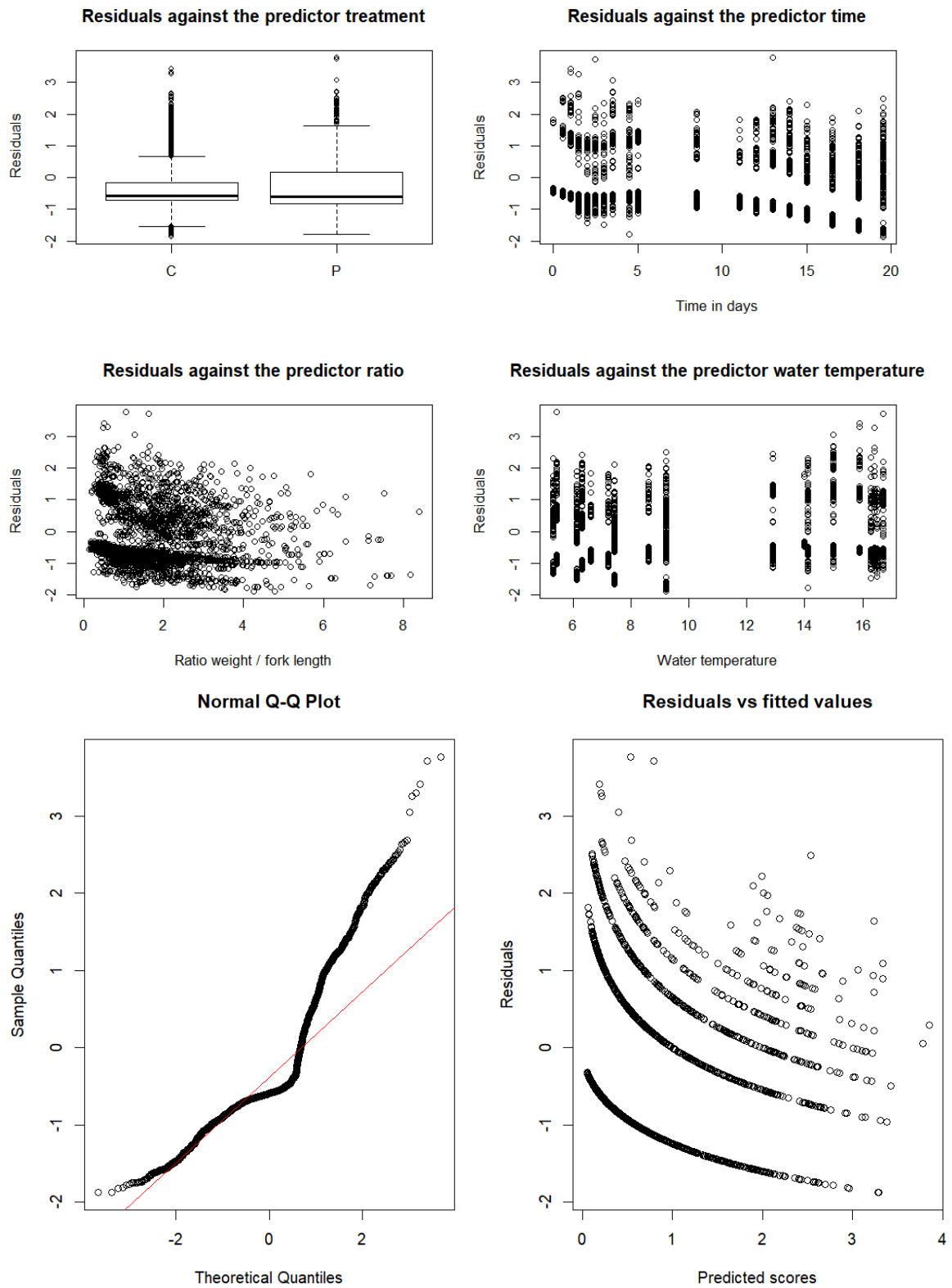
d. GLM for the pre-adult stage

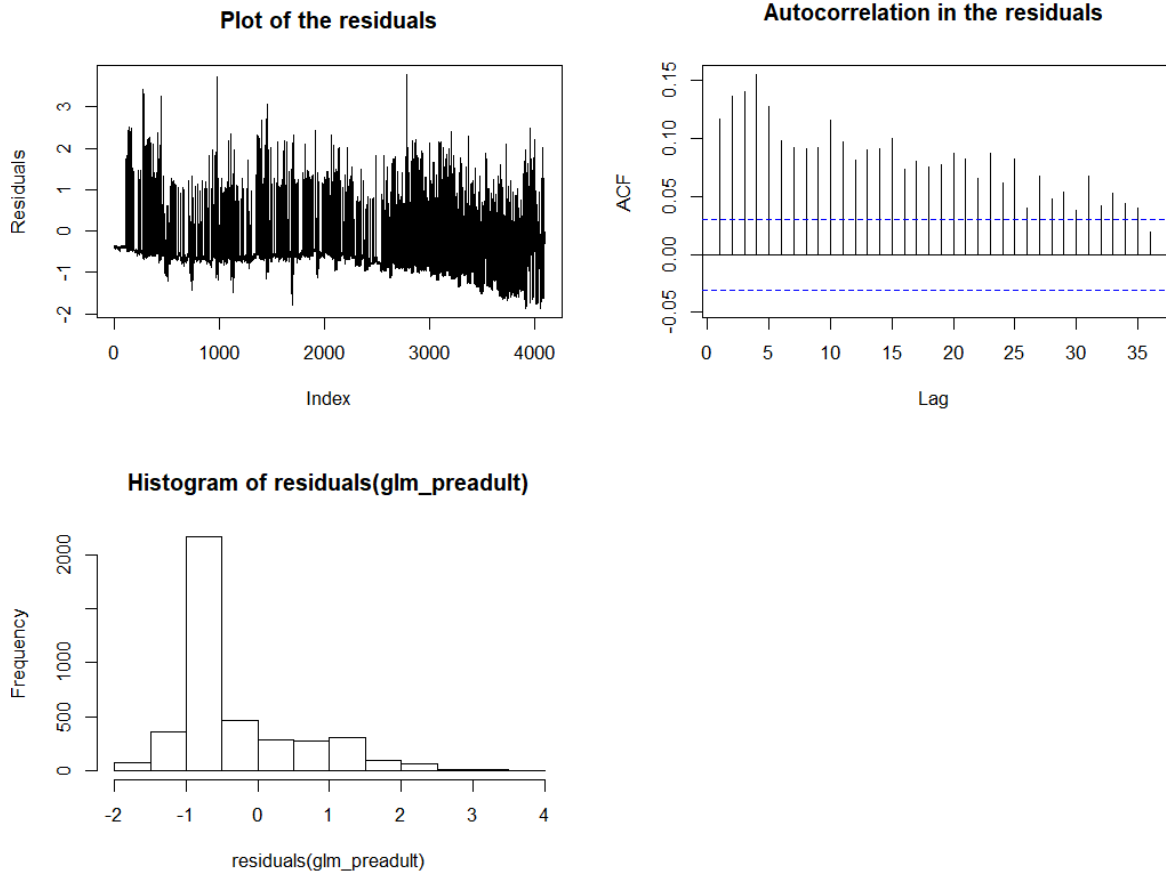
The model with the lowest BIC is the following:

$$\log(\text{copedodid}) \sim \beta_0 + \beta_1 \text{Treatment} + \beta_2 \text{Time} + \beta_3 \text{Ratio} + \beta_4 \text{Water temperature} + \beta_5 \text{Treatment} * \text{Ratio} + \beta_6 \text{Treatment} * \text{Water temperature} + \beta_7 \text{Time} * \text{ratio} + \beta_8 \text{Time} * \text{Water temperature} + \beta_9 \text{Water temperature} * \text{Ratio} + \gamma \text{Pen}$$

Source	β	Z value	p-value	Exp(β)
(Intercept)	-7.053	-13.528	0.000	0.0008
Treatment	1.019	4.034	0.000	2.770
Time	0.455	13.422	0.000	1.576
Ratio	0.385	1.155	0.248	
Water temperature	0.287	8.954	0.000	1.332
Treatment * Ratio	-0.371	-3.360	0.0008	0.690
Treatment * Water temperature	-0.054	-346	0.0008	0.947
Time* Ratio	-0.062	-4.453	0.000	0.940
Time * Water temperature	-0.022	-7.811	0.000	0.978
Water temperature * ratio	0.122	4.707	0.000	1.130

The variable treatment is significant and its odds-ratio is superior to 1, i.e. 2.770 [2.151 ; 3.464]. There are more sea lice in the pens equipped with Pulse Guard.





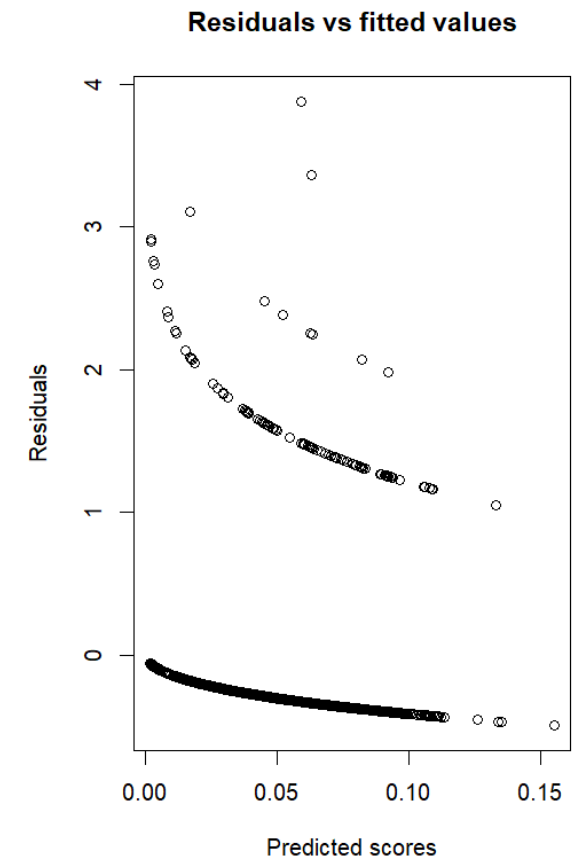
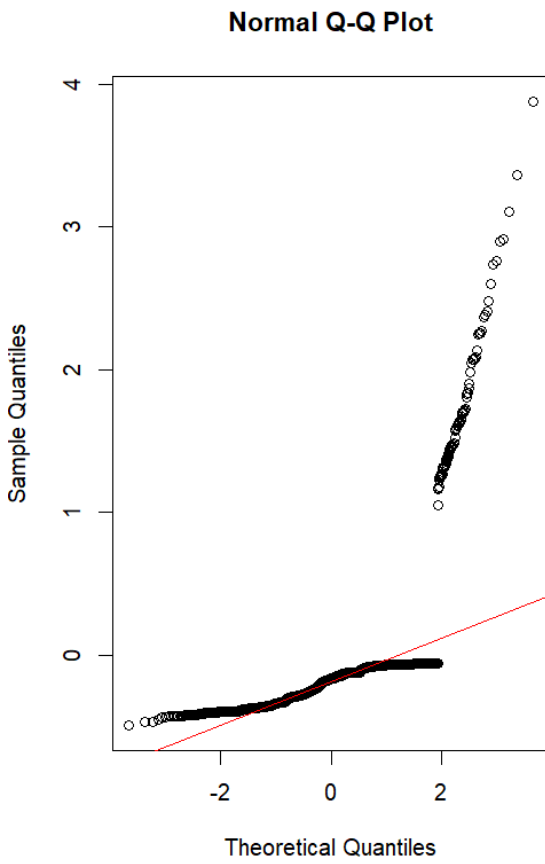
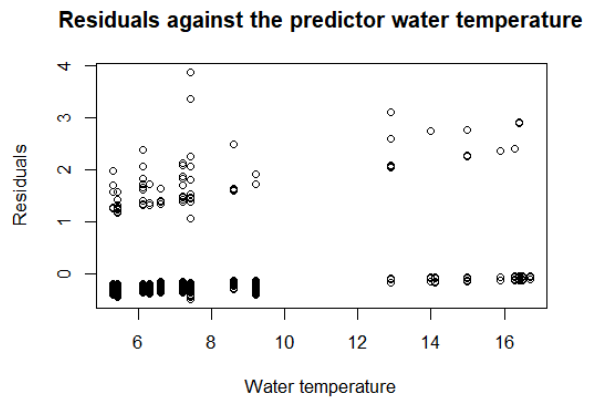
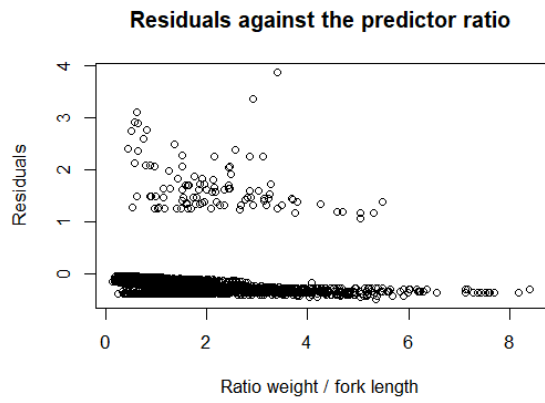
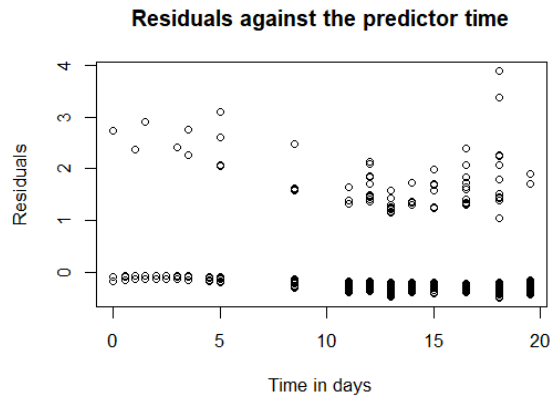
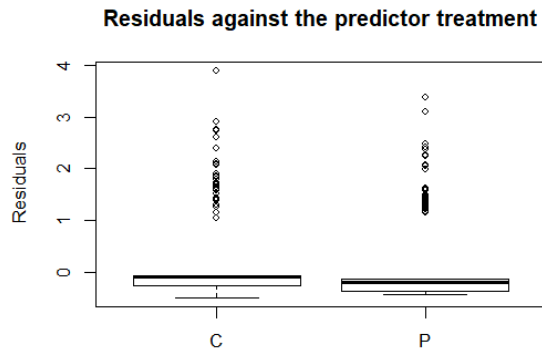
e. **GLM for the adult male stage**

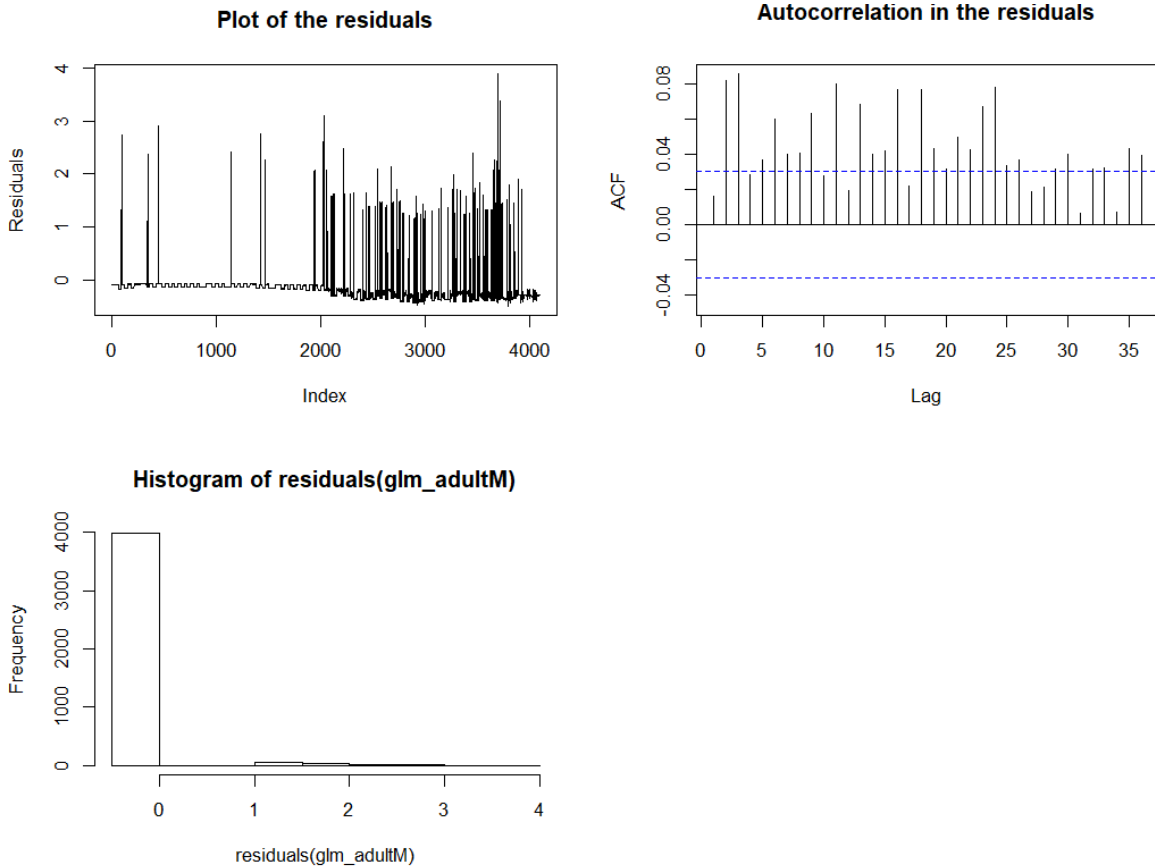
The model with the lowest BIC is the following:

$$\log(\text{copedodid}) \sim \beta_0 + \beta_1 \text{Treatment} + \beta_2 \text{Ratio} + \beta_3 \text{Water temperature} + \beta_4 \text{Treatment} * \text{Ratio} + \gamma \text{Pen}$$

Source	β	Z value	p-value	Exp(β)
(Intercept)	-2.896	-5.851	0.000	0.055
Treatment	1.614	3.579	0.0003	5.023
Ratio	0.993	3.121	0.0018	2.699
Water temperature	-0.220	-6.240	0.000	0.803
Status * Ratio	-0.899	-2.459	0.014	0.407

The variable treatment is significant and its odd-ratio is superior to 1, i.e. 5.023 [3.201 ; 7.890].





f. **GLM for the adult female stage**

The model with the lowest BIC is the following:

$$\log(\text{copedodid}) \sim \beta_0 + \beta_1 \text{Treatment} + \beta_2 \text{Ratio} + \beta_3 \text{Water temperature} + \beta_4 \text{Treatment} * \text{Ratio} + \gamma \text{Pen}$$

Source	β	Z value	p-value	$\text{Exp}(\beta)$
(Intercept)	-2.809	-2.512	0.012	0.060
Treatment	-0.193	-0.404	0.686	
Duration	-0.006	-0.080	0.937	
Ratio	1.378	2.879	0.004	3.967
Water temperature	-0.289	-3.399	0.0007	0.749
Treatment * Water temperature	0.113	1.990	0.047	1.120
Duration * Ratio	-0.080	-2.808	0.005	1.083
Duration * Water temperature	0.026	4.349	0.000	1.026



International Research Institute of Stavanger

Hovedkontor

Postboks 8046
4068 Stavanger
Tlf: 51 87 50 00
Fax: 51 87 52 00

Besøksadresse: Prof. Olav Hanssensvei 15

E-post: firmapost@iris.no

Org. nummer: 988 944 459 MVA

Bergen

Thormøhlensgate 55
5506 Bergen

Mekjarvik

Mekjarvik 12
4072 Randaberg

iris.no