



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for biovitenskap, fiskeri og økonomi

Undersøkelse av mulige miljøforsterkede infeksjonsveier for lakselus, *Lepeophtheirus salmonis*, i merder beskyttet av 6 meters luseskjørt

- basert på historiske produksjonsdata og modellerte miljøparameter

Sondre Pedersen

Masteroppgave i fiskeri- og havbruksvitenskap (60stp)

FSK-3960, mai 2021



Forord

Arbeidet med denne masteroppgaven har vært utrolig lærerikt og utfordrende på måter jeg aldri kunne sett for meg. Jeg vil rette en stor takk til mine veiledere, Bjørn-Steinar Sæther for uvurderlige innspill og tilbakemeldinger, og Keshav P. Paudel for din utrettelige vilje til å stille opp, uansett spørsmål og dilemma.

Studien hadde ikke latt seg gjennomføre uten det store datamaterialet tilgjengeliggjort av Cermaq Norway AS. I den forbindelse vil jeg rette en stor takk til Randi Rydland som har fasilitert samarbeidet og vært svært imøtekommende på alle henvendelser.

«Imøtekommende» er også stikkordet for alle de intervjuede driftslederne som bidro til å gjøre datainnsamlingen til en både morsom og lærerik prosess. Takk også til Ole Anders Nøst ved Akvaplan-niva for koordinering, prosessering og deling av deres modellerte datamateriale som var utrolig spennende å jobbe med.

Til slutt, tusen takk til min familie som har motivert og støttet meg gjennom alle mine år som student. Og takk til mine venner og medstudenter, Jonas og Silje spesielt, for å ha gjort studietiden her ved NFH uforglemmelig!

Tromsø, mai 2020.

Omslagsbilde: Privat foto.

Sammendrag

Utviklingen i den norske oppdrettsnæringen har vært forrykende, men de siste årene stagnert. Dette skyldes blant annet problemer med parasitten *Lepeophtheirus salmonis*, lakselus. En rekke forebyggende og bekjempende metoder er tatt i bruk av næringen og i denne studien undersøkes det forebyggende luseskjørtet. Skjørtet fungerer som en presenning og strekkes rundt de øverste delene av merdene, i denne studien de øverste 6 meterne. Barrieren dette utgjør reduserer påslaget av lakselus som vanligvis oppholder seg i de øverste delene av vannsøylen. Denne studien undersøker luseforekomster i oppdrettsanlegg og mulige effekter av miljøvariabler- spesielt havstrøm, vind og salinitet- på lusepåslag i individuelle merder beskyttet av luseskjørt.

Studien er hovedsakelig basert på en hypotese om at en merds interne plassering er bestemmende for dens eksponering mot miljøvariablene, og dermed lusepåslag. Dette undersøkes ved å bruke modellerte miljødata, og en enkel statistisk modellers tilnærming. For å oppnå dette er studien gjennomført i samarbeid med Cermaq Norway AS som har tilgjengeliggjort produksjonsdata fra deres lokaliteter i Vest-Finnmark, produksjonsområde 12. Dette muliggjør blant annet å undersøke luseforekomster på en per merd basis. Et delmål med studien har vært å vurdere produksjonsdata, slik det registreres av Cermaq, fra et akademisk ståsted.

De undersøkte forholdene er i høy grad viklet sammen og komplekse på hver sine måter, med en ukjent grad av tilfeldighet. Det har derfor måttet være gjort noen simplifiseringer og antakelser i det metodiske arbeidet. Resultatene indikerer likevel en sammenheng mellom en merds interne plassering og dens grad av eksponering mot de undersøkte forhold. Resultatene kan derfor først og fremst brukes til å anta at de ulike «hendelsene», som definert her, har en effekt, selv om denne ikke i særlig grad var kvantifiserbar. Avslutningsvis gis det også en rekke anbefalinger til mulige forbedringsområder når det kommer til registrering av potensielt relevante drifts- og produksjonsmessige data ved oppdrettslokalitetene.

Summary

The development of the Norwegian fish farming industry has been astonishing but has stagnated in recent years. This is partly due to problems with the parasite *Lepeophtheirus salmonis*, salmon louse. A number of preventive and combative methods have been used by the industry and this study examines the preventive lice skirt. Lice skirts function as a tarpaulin and is stretched around the upper parts of the cages, in this study the upper 6 meters. The barrier this poses reduce the number of infestations by salmon louse that usually reside in the upper parts of the water column. This study investigates lice abundance on salmon farms and examines possible impacts of environmental variables- particularly current, wind and salinity- on salmon lice infestation in individual cages protected by lice skirts.

The study is mainly based on a hypothesis that a pens' location within the farm is determinant for its exposure to some of these environmental variables, and therefore lice infestation. This is tested by using modelled environmental data and a simple statistical modelling approach. To achieve this, the study was carried out in collaboration with Cermaq Norway AS, who has supplied production data from their farming sites in western Finnmark, production area 12. This enables, among other things, to investigate lice abundance on a per pen level. An intermediate objective has been to assess production data, as registered by, from an academic point of view.

The examined conditions are to a large extent intertwined and complex in their own ways, with an unknown degree of randomness. Some simplifications and assumptions have therefore had to be made in the methodological work. Nevertheless, the results indicate a connection between a pens' internal placement and its exposure to the issue investigated. The results can therefore primarily be used to assume that the various "events" defined here have an effect, even if this was not particularly quantifiable. Finally, a number of recommendations are also given for possible areas of improvement when it comes to registering potentially relevant operational and production data at the farms.

Innholdsfortegnelse

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Innledning..... | 1 |
| 1.1 | Norsk oppdrettshistorie..... | 1 |
| 1.2 | Lusen som forvaltningsproblem..... | 2 |
| 1.3 | Lakselus..... | 3 |
| 1.3.1 | Livssyklus..... | 3 |
| 1.3.2 | Temperatur og utviklingstid..... | 6 |
| 1.3.3 | Lokalisering av- og festing til vert..... | 9 |
| 1.4 | Bekjempelse og forebygging..... | 10 |
| 1.4.1 | Bekjempelse..... | 10 |
| 1.4.2 | Forebyggende metoder..... | 12 |
| 1.5 | Resistens..... | 18 |
| 1.6 | Problemstilling og hypoteser..... | 19 |
| 2 | Metode..... | 22 |
| 2.1 | Sammendrag..... | 22 |
| 2.2 | Datainnsamling og behandling..... | 24 |
| 2.2.1 | Produksjonsdata fra Fishtalk (Cermaq)..... | 24 |
| 2.2.2 | Intervju av driftsledere (Cermaq)..... | 25 |
| 2.2.3 | Annet..... | 26 |
| 2.2.4 | FVCOM-modellen (NIVA)..... | 27 |
| 2.2.5 | Prosessering av NetCDF data..... | 28 |
| 2.3 | Analytisk metodikk..... | 31 |
| 2.3.1 | Per merd eksponering..... | 31 |
| 2.3.2 | Miljøforhold ved infeksjonstidspunkt..... | 34 |
| 2.3.3 | Sammenlikning av merder basert på eksponering..... | 38 |
| 3 | Resultat..... | 39 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | Miljøforhold ved infeksjonstidspunkt | 39 |
| 3.2 | Sammenlikning av merder basert på eksponering | 41 |
| 4 | Diskusjon..... | 45 |
| 4.1 | Resultater | 45 |
| 4.1.1 | Miljøforhold ved infeksjonstidspunkt | 45 |
| 4.1.2 | Sammenlikning av merder basert på eksponering..... | 46 |
| 4.2 | Utvalg og infeksjonsvindu..... | 48 |
| 4.3 | Variabler | 49 |
| 4.3.1 | Vindvariabelen | 49 |
| 4.3.2 | Strømvariabelen | 50 |
| 4.3.3 | Temperaturvariabelen..... | 51 |
| 4.3.4 | Salinitetsvariabelen | 51 |
| 4.3.5 | Felles for modellerte variabler | 52 |
| 4.4 | Andre påvirkende faktorer | 52 |
| 4.5 | Historiske produksjonsdata, forbedringsområder | 54 |
| 4.6 | Nytteverdi | 56 |
| 5 | Konklusjon | 58 |
| | Referanseliste | 60 |
| | Vedlegg | 74 |
| | Appendiks 1 – Rensing av produksjons og modelldata | 74 |
| | Appendiks 2 – Satellittbilder brukt for lokalitetsvurdering | 80 |
| | Appendiks 3 – «Miljøforhold ved infeksjonstidspunkt» - undersøkte lokaliteter, merder og infeksjonsvindu | 84 |
| | Appendiks 4 – P-verdier og korrelasjon for alle utførte GLM og GAM tester..... | 85 |
| | Appendiks 5 – Datagrunnlag for analyser | 86 |

Tabelliste

| | |
|---|----|
| Tabell 1: Størrelse i millimeter på de planktoniske livsstadiene til lakselusen, atlantisk populasjon. N=Observasjoner, SD=Standardavvik, L=Gjennomsnittlig lengde, W=Gjennomsnittlig bredde, Range=variasjon i observasjoner. | 5 |
| Tabell 2: Utviklingstider for de planktoniske stadiene av lakselus ved forskjellige temperaturer. Infeksjonsvindu er gitt ved tiden fra lusene utviklet seg til kopepoditter og til 80% av lusene var døde. ^a , luselarver inkubert ved 3°C startet ikke skallskiftet til kopepodittstadiet. | 6 |
| Tabell 3: Relativ alder (R_{FRAC}) og utviklingstid gitt i dpi for de ulike post-infeksjonsstadiene av lakselus ved ulike temperaturer, funnet ved vekstmodellering. Inndelt i de tidligst forventede observasjonene av et stadium (early) og når majoriteten har utviklet seg til stadiet (all). Se Hamre, L. A. mfl. (2019) for ytterligere informasjon. | 7 |
| Tabell 4: Vekstmodell konstanter for hvert kjønn. Se Hamre, L. A. mfl. (2019) for ytterligere informasjon. | 8 |
| Tabell 5: Geografisk gruppering av lokaliteter og tilhørende målestasjon for vindvariabelen. Detaljer om målestasjonene kan sees på klimaservicesenter.no. | 27 |
| Tabell 6: Oversikt over lokalitetene og kategorisering av merder. | 42 |

Figurliste

| | |
|---|----|
| Figur 1: Illustrasjon av luseskjørt, snorkelmerder og nedsenkbare merder. Illustrasjon av Oddvar Dahl@Nofima (Holan, A. B. mfl., 2017). | 15 |
| Figur 2: Oksygenmetning i % mot temperatur. Punktene viser nedre kritisk oksygenmetning for fullfôret laks på 400g. Gradientene viser: grønn (optimal), gul (suboptimal), oransje (toleransegrense) og kritisk (rød). Grensen mellom gul og grønn sone er usikker. Hentet fra Frank, K. og Lien, A. M., 2015. Opprinnelig publisert av Oppedal, F., 2011. | 16 |
| Figur 3: Produksjonsområder i Norge, og undersøkte lokaliteter i produksjonsområde 12. ... | 21 |
| Figur 4: ArcGIS Pro "model builder", brukt til å automatisere prosessen med indeksering og eksportering av data fra NetCDF filer. Tidspunkt er gitt ved «t» og verdier av en gitt variabel ved «v». Iteratoren repeterer modellen for alle, eller gitte intervaller, av «t». Den permanente filen helt til høyre kompilerer alle relevante verdier av variabelen «v», gitt av posisjonen til målepunktet, kronologisk etter tidspunkt «t» for hver iterasjon av modellen. Den øverste | |

| | |
|--|----|
| raden behandler overflateverdier og den nederste raden (2) ved 5 meters dyp. «Sletting av midlertidig fil» gjøres etter hver fullførte iterasjon for å frigjøre diskplass på maskinen. | 29 |
| Figur 5: Illustrasjonsfoto av referanse-merdoppsett brukt for å plassere merder innenfor en lokalitets overflateareal. | 31 |
| Figur 6: Satellittbilde (Sentinel 1B) av lokaliteten Storholmen den 10.06.18 (NASA, ukjent, b). Dette bildet ble vurdert å inneholde 12 merder, en merd per bur ved lokaliteten. Det mørke området er hav, den lyseste flekken er flåten ved lokaliteten, og nedenfor denne er konturene av de 12 merdene..... | 32 |
| Figur 7: Illustrasjonsfoto for bestemmelse av retninger en merd er eksponert for (lokalitet: Olderfjord). Polygonet er overflatearealet til lokaliteten (hentet fra Barentswatch.no), sirklene er merder med tilhørende støttelinjer for inntegning av piler. Kurve A viser retningene merd 1 er eksponert for, og kurve B viser retningene merd 2 er eksponert for..... | 33 |
| Figur 8: Korrelasjonsmatrise for de definerte hendelsene og infeksjonsvindu (gitt ved 0 eller 1). Distribusjonen for variablene er vist diagonalt, over denne: korrelasjonskoeffisientene m/ signifikansnivå, under: spredningsplot med trendlinje. | 39 |
| Figur 9: Strømroser for de undersøkte lokalitetene. Stolpene er tegnet i inkremitter på 10°. 1=Nordnes, 2=Sommarbuk og 3=Tuvan..... | 41 |
| Figur 10: Gjennomsnittlig akkumulert antall lus (bevegelige + voksne hunnlus) per kategori ved Nordnes, Sommarbuk og Tuvan. Kategorier: 1=skjermet, 2=eksponert for vind, 3=eksponert for strøm, og 4=eksponert for vind og strøm..... | 43 |
| Figur 11: Vindrose for lokaliteten Tuvan, uke 23-35. De røde delene av stolpene representerer vindstyrker over 8 m/s (Beaufort 5). | 44 |

1 Innledning

1.1 Norsk oppdrettshistorie

På 50- og 60- tallet var den Norske oppdrettsnæringen en liten pionernæring (*Hovland, E., ukjent*). Først ut i sjøbasert oppdrett var brødrene Karstein og Olav Vik som tidlig på 60-tallet lyktes å tilpasse regnbueørret til sjøvann. Senere, etter eksperimentering med andre arter, ble den første oppdrettslaksen fra flytemerder i sjøen slaktet i 1971 (*Misund, B., 2021*).

Oppdrettsnæringen var imidlertid fortsatt i startfasen og fra starten av 70-tallet var regelverket og konsesjonsordningen slik at dette skulle være en distriktsnæring som styrket kystsamfunnene. Det var kun tillatt for et foretak å inneha ett enkelt løyve for produksjon, og eieren måtte ha en lokal tilhørighet. Fra 1980 til 1989 økte førstehåndsverdien av oppdrettsfisk fra om lag 260 millioner til litt i overkant av 3,5 milliarder. Regelverket ble imidlertid myket opp i 1991, etter en periode med mange konkurser som følge av økt produksjon og lavere priser på slutten av 80-tallet. Løyvebegrensningene og kravet om lokal tilhørighet ble endret og med det startet eierkonsentrasjonen og industrialiseringen (*Steinset, T. A., 2017*). Slik har oppdrettsnæringen utviklet seg til sånn vi kjenner den i dag, hvor fisk er Norges tredje viktigste eksportvare etter råolje og gass. Eksporten av fisk, krepsdyr og bløtdyr tilsvarte i 2020 en verdi på over 101 milliarder kroner (SSB, 2021a) og av dette utgjorde atlantisk laks, *Salmo salar*, rett over 70 milliarder, eller over to tredeler av den totale verdien (SSB, 2021b).

Den eventyrlige veksten de siste tiårene har imidlertid stagnert på 2010-tallet som følge av et økt fokus på en bærekraftig havbruksnæring. Myndighetsregulering har blitt strengere og det har vært utfordringer knyttet til blant annet rømming av oppdrettslaks, miljøpåvirkninger og lakselus (*Misund, B., 2021*). Denne studien retter seg mot luseproblematikken og gjøres i sin helhet i produksjonsområde 12, Vest-Finnmark, hvor to lusearter har vært problematiske (*FHF, 2019*). Disse er parasittene *Lepeophtheirus salmonis*, heretter kalt lakselus, og *Caligus elongatus*, heretter kalt skottelus. Som et forvaltningsproblem har parasittene vært en viktig kostnadsdriver med direkte kostnader på om lag 5 milliarder kroner for den norske oppdrettsnæringen i 2018. Dette inkluderer dog ikke tapt inntekt gjennom redusert vekst eller tapt produksjon som også utgjør betydelige summer (*Iversen, A. mfl., 2019*).

1.2 Lusen som forvaltningsproblem

Den enorme veksten i produksjonen av Atlantisk laks langs Norskekysten har bidratt til lokalt høye konsentrasjoner av verter for parasittene. *Kristoffersen, A. B. mfl. (2014)* utarbeidet en prediksjonsmodell for lusepåslag basert på lusetellinger ved nærliggende lokaliteter. Relativ infeksjonsrisiko ble utarbeidet som en funksjon av avstand til andre lokaliteter. Det eksterne infeksjonspresset, som definert i artikkelen, er sterkt knyttet til lusepåslag ved en gitt lokalitet. Dette er i tråd med *Jansen, P. A. mfl. (2012)* som påviste en positiv korrelasjon mellom “lokal biomasse tetthet” og forekomster av parasitter på oppdrettsfisken hvor lokal biomassetetthet var en god predikator på forekomst av parasittene. Hypotesen de styrket var at oppdrettsfisk i områder med høy konsentrasjon av oppdrettslokaliteter vil ha et høyere påslag av parasitter.

På grunn av lusens miljømessige utfordringer, spesielt knyttet til økt smittepress på ville fiskebestander, kom den første luseforskriften på slutten av 1990-tallet (*Mattilsynet, 2010*). Dagens *forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg* av 05 desember 2012 nr. 1140, regulerer blant annet lusetelling, deres frekvens og resistensproblematikken. Formålet er definert som følger «*Formålet med forskriften er å redusere forekomsten av lakselus slik at skadevirkningene på fisk i akvakulturanlegg og i viltlevende bestander av laksefisk minimaliseres, samt redusere og bekjempe resistensutvikling hos lakselus*». Telling av lus er omtalt i paragraf 6 og antall lakselus skal telles minst hver 7. dag dersom temperaturer er lik eller over 4°C, dersom temperaturen er lavere enn dette skal det telles hver 14. dag.

Videre heter det at «*I Nordland, Troms og Finnmark skal det fra og med mandag i uke 21 til og med søndag i uke 26 til en hver tid være færre enn 0,2 voksen hunnlus av lakselus i gjennomsnitt per fisk i akvakulturanlegget. Fra og med mandag i uke 27 til og med søndag i uke 20 skal det til en hver tid være færre enn 0,5 voksen hunnlus av lakselus i gjennomsnitt per fisk i akvakulturanlegget*» etter paragraf 8. De overnevnte fylkene har egne reguleringer som følge av miljøforskjeller langs den lange Norskekysten. Det er også lovfestet at man skal gjennomføre tiltak for å hindre at mengden lus ikke overskrider grenseverdiene, og om nødvendig utslakting av fisk. Som supplement til tellingen skal også sjøtemperatur måles på tre meters dyp og rapporteres.

Lakselus er i dag direkte bestemmende for kapasitetsendringer i produksjon gjennom regulering av maksimal tillatt biomasse. Norskekysten er delt inn i 13 ulike produksjonsområder for laks- og ørretoppdrett. Reguleringen kalles «trafikklyssystemet» og innebærer en vurdering av lusesituasjonen hos oppdrettsaktører innenfor

produksjonsområdene hvert andre år. Hvert område får tildelt en fargekategori hvor grønne soner kan få inntil 6% økning i produksjonen, gule soner holdes som de er og røde soner kan bli pålagt inntil 6% reduksjon i produksjon. Innenfor den røde kategorien kan imidlertid enkeltlokaliteter søke om unntak fra reduksjon ved å vise til lave lusetall ved deres lokalitet (Fagerbakke, C., 2020). Trafikklyssystemet reguleres gjennom *Produksjonsområdeforskriften* av 16 januar 2017 nr. 61. Altså er luseproblematikken sentral for videre vekst i den norske oppdrettsnæringen.

1.3 Lakselus

Både lakselusen og skottelusen er ektoparasitter som fester seg til- og lever av en vert. De er begge klassifisert som Copepoda (hoppekreps) (Paulsen, N., 2018). Lakselusen er en spesialist og finnes kun på laksefisker, skottelusen derimot er en generalist og er funnet på over 80 fiskearter, blant andre laksefisker, torskfisker og flyndrefisker (Hansen, H. mfl., 2020; Helgesen, K. O. og Qviller, L., 2020; Revie, C. W. mfl., 2002). Lusene bruker en raspende munn til å skrape av slim, skjell og underliggende vev som de beiter på (Costello, M. J., 2006). Moderate til høye konsentrasjoner av lus på en laks kan føre til huderosjon, sårdannelse, sekundære infeksjoner, immunsuppresjon, osmoregulatorisk svikt, anemi og kronisk stress (Barrett, L. T. mfl., 2020; Hevrøy, E. M. mfl., 2003; Overton, K. mfl., 2019; Overton, K. mfl., 2020). Produksjonsmessig vil vertsfisk ha en lavere appetitt, vekst og lavere fôrutnyttelse (Costello, M. J., 2006). Skottelusen gir generelt mindre skader enn lakselusen (Hansen, H. mfl., 2020), men regnes som problematisk i produksjonsområdene 9-13 i Norge, og på Færøyene og Island (FHF, 2019). Lakse- og skottelusen deler en del likhetstrekk men er samtidig nokså ulike, denne studien undersøker utelukkende lakselus og alle henvisninger til «lus», «lusen» ol. refererer til lakselus.

1.3.1 Livssyklus

Lakselusen har 8 livsstadier med skallskifte mellom hvert stadie (Hansen, H. mfl., 2020) og livssyklusen er som følger: naupilus 1 og 2, kopepoditt, chalimus 1 og 2 (CH1 og 2), preadult 1 og 2 (PA1 og 2) og et voksent stadie (Hamre, L. A. mfl., 2013). En voksen hunn produserer egg i to eggstrenger som strekker seg ut fra kjønnsorganene og posteriort fra kroppen (Schram, T. A., 2000; Stien, A. mfl., 2005). Antall egg i eggstrengene kan variere mye fra ~100 til ~1000 egg (fekunditet) (Costello, M. J., 2006; Heuch, P. A. mfl., 2000; Stien, A. mfl., 2005; Tully, O og Whelan, K. F., 1993). Den store variasjonen i antall produserte egg per lus/streng har flere årsaker. Det er gjort flere observasjoner av at lakselus med opprinnelse fra

villfisk er større og kan bære inntil dobbelt så mange egg som lakselus med opprinnelse fra oppdrettsfisk (Brooker, A. J. mfl., 2018). Ved undersøkelser av lakselus med opphav fra akvakultur er også siste lusebehandling av laksen viktig for lusens reproduksjonsevne (Brooker, A. J. mfl., 2018). Det første settet med eggstrenger er kortere og holder betydelig færre egg enn sett nummer to og påfølgende sett med eggstrenger som demonstrert av bla. Heuch, P. A. mfl. (2000) (sitert i Stien, A. mfl., 2005). Heuch, P. A. mfl. (2000) observerte også i et eksperiment med 44 hunnlus at tre av lusene produserte så mange som 11 eggstrenger i løpet av livstiden og kunne overleve opp til 191 dager. Eggene vil normalt være mekanisk festet til hunnlusen til alle, eller nesten alle, eggene er klekket. Lusen kan imidlertid slippe eggstrengene under stress ved å løsne de fra en “krok” lokalisert ved kjønnsorganene som beskrevet av Schram, T. A. (2000).

Fostrene klekkes til det planktoniske naupilus 1 stadiet før det utvikles til naupilus 2. Fra dette stadiet når lusen det infeksjøs kopepoditt stadiet. Hvis lusen i dette stadiet finner en vert vil den feste seg å begynne å leve av verten (Grøntvedt, R. N. mfl., 2018; Kristoffersen, A. B. mfl., 2014; Stien, A. mfl., 2005). Størrelsen ved de ulike planktoniske stadiene er observert for lakselus fra Atlanterhavet av Schram, T. A. (1993), disse er vist i tabell 1 og nevnes senere i sammenheng med luseskjørt. I disse planktoniske stadiene lever lusen utelukkende av lipider i en plommesekk før den finner en vert (Eichner, C. mfl., 2015; Stien, A. mfl., 2005; Thompson, C. R. S. mfl., 2019). Når lusen har funnet en vert skjer videre utvikling gjennom stadiene på vertsfisken. Som kopepoditt, og chalimus 1 og 2 er lusen festet til verten med et frontal filament og er fastsittende/immobile. I disse stadiene er lusen liten og kan være vanskelig å se på laksen, samt skille fra skottelus (Gislason, H., 2017; Revie, C. mfl., 2009). Preadult 1 og 2, samt voksenstadiet er bevegelige/mobile og kan bevege seg på vertens overflate ved å bruke cephalothorax som en sugeskopp (Heggland, E. I. mfl., 2020). Dette oppnås ved å trekke seg mot verten og la en membran langs lusens kroppshule tette åpningen mellom vert og lus, griperedskaper trekker lusen mot verten og to sinuser med klaffer slipper vannet ut (Heuch, P. A. og Schram, T. A., 1999). I de mobile stadiene øker skadene som påføres fisken (Grimnes, A. og Jakobsen, P. J., 1996).

Tabell 1: Størrelse i millimeter på de planktoniske livsstadiene til lakselusen, atlantisk populasjon. N=Observasjoner, SD=Standardavvik, L=Gjennomsnittlig lengde, W=Gjennomsnittlig bredde, Range=variasjon i observasjoner.

| Stage | N | L | SD | Range | N | W | SD | Range |
|-------------|----|-------|-------|-------------|----|-------|-------|-------------|
| Nauplius I | | | | | | | | |
| Cultivated | 56 | 0.504 | 0.014 | 0.450–0.530 | 32 | 0.210 | 0.009 | 0.20–0.23 |
| Wild | 30 | 0.511 | 0.024 | 0.470–0.575 | 30 | 0.188 | 0.008 | 0.165–0.200 |
| Nauplius II | | | | | | | | |
| Free sw. | 22 | 0.606 | 0.01 | 0.590–0.620 | 17 | 0.205 | 0.01 | 0.195–0.230 |
| Copepodid | | | | | | | | |
| Free sw. | 15 | 0.684 | 0.016 | 0.658–0.709 | 15 | 0.229 | 0.007 | 0.223–0.252 |
| Attached | 24 | 0.793 | 0.026 | 0.720–0.830 | 24 | 0.295 | 0.018 | 0.260–0.330 |

Kilde: Schram, T. A., 1993, s. 33.

1.3.1.1 Planktoniske stadier

Adferden til de planktoniske stadiene, spesielt kopepoditt-stadiet, er svært viktig for bekjempelse. Spesielt gjennom forebygging av vert-parasitt møter. I disse stadiene er lusen planktonisk og driver med havstrømmene uten noe egen horisontal bevegelsesevne (*Samsing, F. mfl., 2016*). Lusen er imidlertid tyngre enn sjøvann og er avhengig av svømming for holde vertikal posisjonering. Observasjoner er gjort hvor adferden består i korte perioder med vertikal svømming oppover og lengre perioder med passiv synking, mest sannsynlig for å konservere energi (*Brooker, A. J. mfl., 2018*). I et eksperiment av *Fields, M. D. mfl. (2017)* ble det funnet at de raskeste av stimulerte kopepoditter kunne svømme opp til 5,5 mm/s men raskere observasjoner er gjort helt opp til 10,23 cm s⁻¹ (*Brooker, A. J. mfl., 2018*).

Det er antatt at lakselusen i de planktoniske stadiene hovedsakelig befinner seg i de øvre vannlagene og ned til 4-5 meters dyp (*Grøntvedt, R. N. mfl., 2018; Næs, M. mfl., 2012*). De er også funnet å være sterkt positiv fototaktisk (*Heuch, P. A., 1995*) og trekker til overflaten på dagtid mens de synker lengre ned i vannsøylen på nattetid (*Heuch, P. A. mfl., 1995*). Dette er motsatt av laksen som gjerne trekker lengre ned på dagtid og holder seg høyere i vannsøylen på natten. *Heuch, P. A. mfl. (1995)* antar at dette øker møter mellom vert og parasitt ved at de passerer hverandre i vannsøylen under vertikal migrering. Det blir også foreslått at oppdrettslaks, som føres i overflaten på dagtid, vil oppleve et høyere smittepress.

Crosbie, T. mfl. (2019) undersøkte salinitetspreferanser ved bruk av kolonner som inneholdt full-salinitets sjøvann (~34‰) i nedre halvdel og en haloklin over, hvorpå en rekke ulike saliniteter ble testet. Nauplius 1 og 2 viste en svært sterk preferanse for full-salinitets sjøvann. Kopepoditter viste også preferanse for full-salinitets sjøvann men var mer vertikalt distribuert. I en studie av *Bui, S. mfl. (2019)* ble 28‰ definert som preferansegrensen for kopepodittene,

og er også brukt her. I et liknende kolonneforsøk med termokliner ble det ikke funnet noen preferanser for temperatur hos kopepoditter (*Crosbie, T. mfl., 2020*).

1.3.2 Temperatur og utviklingstid

Temperatur er helt avgjørende for utviklingstiden fra klekking til voksen lus, også for reproduksjonsraten. Krepssdyr lever generelt lengre og vokser seg større i kaldere temperaturer, videre produserer større hunndyr flere egg (*Costello, M. J., 2006; Stien, A. mfl., 2005; Tully, O og Whelan, K. F., 1993*). Utviklingstiden for de planktoniske stadiene fra klekking til kopepodittstadiet er funnet av *Samsing, F. mfl. (2016)* mellom 3 og 20°C. Disse er vist i tabell 2, men merk at dette er hentet fra ekstramaterialet til studien. Infeksjonsvinduet er gitt som tiden fra lusene utviklet seg til kopepoditter til 80% var død. Lusene inkubert ved 3°C utviklet seg ikke forbi naupilus stadiene. Den korte utviklingstiden fra klekking til den infeksjose kopepodittstadiet gjør at internt smittepress, hvis høyt nok, kan øke eksponentielt innad i lokaliteten/merden som undersøkt av *Krkošek, M. mfl. (2010)*. Før dette kan skje må først smitten komme fra ekstern kilde som for eksempel fra en annen oppdrettslokalitet eller lusebærende vill fisk i området.

Tabell 2: Utviklingstider for de planktoniske stadiene av lakselus ved forskjellige temperaturer. Infeksjonsvindu er gitt ved tiden fra lusene utviklet seg til kopepoditter og til 80% av lusene var døde. ^a, luselarver inkubert ved 3°C startet ikke skallskiftet til kopepodittstadiet.

| Temperature treatment (°C) | Average time before hatching (days) | | | Duration of salmon lice naupliar stages I and II (days) | | | Infective window (days) | | | Total duration of lice larval stages (days) or PLD | | |
|----------------------------|-------------------------------------|------|----|---|------|----|-------------------------|------|----|--|------|----|
| | Mean | SD | n | Mean | SD | n | Mean | SD | n | Mean | SD | n |
| 20 | 1.78 | 0.55 | 32 | 1.69 | 0.90 | 32 | 6.66 | 0.90 | 32 | 8.34 | 0.60 | 32 |
| 15 | 2.88 | 1.01 | 32 | 2.19 | 0.40 | 32 | 9.68 | 1.11 | 31 | 11.87 | 1.09 | 31 |
| 10 | 4.63 | 1.26 | 16 | 3.81 | 0.66 | 16 | 13.19 | 2.17 | 16 | 17.00 | 2.13 | 16 |
| 7 | 7.64 | 3.39 | 22 | 7.05 | 0.58 | 22 | 12.73 | 2.85 | 22 | 19.77 | 2.65 | 22 |
| 5 | 12.97 | 7.81 | 32 | 11.52 | 1.72 | 29 | 10.15 | 4.00 | 26 | 21.62 | 9.12 | 26 |
| 3 ^a | 20.77 | 7.12 | 22 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |

Kilde: Samsing, F. mfl., 2016, ekstra materiale, s. 1.

Utviklingstid for post-infeksjonsstadiene er funnet av *Hamre, L. A. mfl. (2019)* mellom 3 og 21°C. Utviklingstidene er funnet ved vekstmodellering av observasjonene gjort i studien og er presentert i tabell 3. Alderen er beskrevet med relativ alder (RA_{FRAC}) og tiden er gitt i dager siden infeksjon (dpi). Hannlus utvikles til voksne lus på omtrent 80% av tiden det tar for hunnlus å nå voksenstadiet.

Tabell 3: Relativ alder (R_{FRAC}) og utviklingstid gitt i dpi for de ulike post-infeksjonsstadiene av lakselus ved ulike temperaturer, funnet ved vekstmodellering. Inndelt i de tidligst forventede observasjonene av et stadium (early) og når majoriteten har utviklet seg til stadiet (all). Se Hamre, L. A. mfl. (2019) for ytterligere informasjon.

| Males | RA_{FRAC} | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|-------------------------------|-------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ch1 all | 0.2 | 23.4 | 17.3 | 13.5 | 10.9 | 9 | 7.6 | 6.5 | 5.7 | 5 | 4.4 | 3.9 | 3.5 | 3.2 | 2.9 | 2.7 | 2.4 | 2.2 | 2.1 | 1.9 |
| Ch2 early | 0.35 | 41 | 30.3 | 23.6 | 19.1 | 15.8 | 13.3 | 11.4 | 9.9 | 8.7 | 7.7 | 6.9 | 6.2 | 5.6 | 5.1 | 4.6 | 4.3 | 3.9 | 3.6 | 3.4 |
| Ch2 all | 0.4 | 46.8 | 34.6 | 27 | 21.8 | 18 | 15.2 | 13.1 | 11.3 | 10 | 8.8 | 7.9 | 7.1 | 6.4 | 5.8 | 5.3 | 4.9 | 4.5 | 4.1 | 3.8 |
| Pa1 early | 0.55 | 64.4 | 47.6 | 37.1 | 29.9 | 24.8 | 20.9 | 17.9 | 15.6 | 13.7 | 12.1 | 10.8 | 9.7 | 8.8 | 8 | 7.3 | 6.7 | 6.2 | 5.7 | 5.3 |
| Pa1 all | 0.6 | 70.3 | 52 | 40.5 | 32.7 | 27 | 22.8 | 19.6 | 17 | 14.9 | 13.2 | 11.8 | 10.6 | 9.6 | 8.7 | 8 | 7.3 | 6.7 | 6.2 | 5.8 |
| Pa2 early | 0.72 | 82 | 60.6 | 47.2 | 38.1 | 31.5 | 26.6 | 22.8 | 19.8 | 17.4 | 15.4 | 13.8 | 12.4 | 11.2 | 10.2 | 9.3 | 8.5 | 7.9 | 7.3 | 6.7 |
| Pa2 all | 0.8 | 93.7 | 69.3 | 54 | 43.5 | 36.1 | 30.4 | 26.1 | 22.7 | 19.9 | 17.6 | 15.8 | 14.2 | 12.8 | 11.6 | 10.6 | 9.7 | 9 | 8.3 | 7.7 |
| Adult early | 0.87 | 101.9 | 75.3 | 58.7 | 47.4 | 39.2 | 33.1 | 28.4 | 24.7 | 21.7 | 19.2 | 17.1 | 15.4 | 13.9 | 12.7 | 11.6 | 10.6 | 9.8 | 9 | 8.4 |
| Adult all | 1 | 117.1 | 86.6 | 67.5 | 54.4 | 45.1 | 38.1 | 32.6 | 28.4 | 24.9 | 22.1 | 19.7 | 17.7 | 16 | 14.5 | 13.3 | 12.2 | 11.2 | 10.4 | 9.6 |
| Planktonic development: N1+N2 | 0.134 | 15.7 | 11.6 | 9 | 7.3 | 6 | 5.1 | 4.4 | 3.8 | 3.3 | 2.9 | 2.6 | 2.4 | 2.1 | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| Females | RA_{FRAC} | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| Ch1 all | 0.16 | 23.5 | 17.3 | 13.5 | 10.9 | 9.1 | 7.7 | 6.6 | 5.8 | 5.1 | 4.5 | 4 | 3.6 | 3.3 | 3 | 2.7 | 2.5 | 2.3 | 2.2 | 2 |
| Ch2 early | 0.29 | 42.5 | 31.4 | 24.5 | 19.8 | 16.4 | 13.9 | 12 | 10.4 | 9.2 | 8.2 | 7.3 | 6.6 | 6 | 5.4 | 5 | 4.6 | 4.2 | 3.9 | 3.6 |
| Ch2 all | 0.36 | 52.8 | 39 | 30.4 | 24.6 | 20.4 | 17.3 | 14.9 | 13 | 11.4 | 10.1 | 9.1 | 8.2 | 7.4 | 6.8 | 6.2 | 5.7 | 5.2 | 4.9 | 4.5 |
| Pa1 early | 0.48 | 70.4 | 52 | 40.5 | 32.8 | 27.2 | 23.1 | 19.8 | 17.3 | 15.2 | 13.5 | 12.1 | 10.9 | 9.9 | 9 | 8.2 | 7.6 | 7 | 6.5 | 6 |
| Pa1 all | 0.56 | 82.1 | 60.6 | 47.3 | 38.2 | 31.8 | 26.9 | 23.1 | 20.2 | 17.8 | 15.8 | 14.1 | 12.7 | 11.5 | 10.5 | 9.6 | 8.8 | 8.2 | 7.5 | 7 |
| Pa2 early | 0.66 | 96.7 | 71.5 | 55.7 | 45.1 | 37.4 | 31.7 | 27.3 | 23.8 | 20.9 | 18.6 | 16.6 | 15 | 13.6 | 12.4 | 11.3 | 10.4 | 9.6 | 8.9 | 8.3 |
| Pa2 all | 0.76 | 111.4 | 82.3 | 64.2 | 51.9 | 43.1 | 36.5 | 31.4 | 27.4 | 24.1 | 21.4 | 19.2 | 17.3 | 15.6 | 14.3 | 13.1 | 12 | 11.1 | 10.2 | 9.5 |
| Adult early | 0.87 | 127.5 | 94.2 | 73.5 | 59.4 | 49.3 | 41.8 | 35.9 | 31.3 | 27.6 | 24.5 | 21.9 | 19.8 | 17.9 | 16.3 | 14.9 | 13.7 | 12.7 | 11.7 | 10.9 |
| Adult all | 1 | 146.6 | 108.3 | 84.5 | 68.3 | 56.7 | 48 | 41.3 | 36 | 31.7 | 28.2 | 25.2 | 22.7 | 20.6 | 18.8 | 17.2 | 15.8 | 14.6 | 13.5 | 12.5 |
| First egg string all | 1.3 | 190.5 | 140.8 | 109.8 | 88.8 | 73.7 | 62.4 | 53.7 | 46.8 | 41.2 | 36.6 | 32.8 | 29.5 | 26.8 | 24.4 | 22.3 | 20.5 | 18.9 | 17.5 | 16.3 |
| Days between egg batches | 0.25 | 36.6 | 27.1 | 21.1 | 17.1 | 14.2 | 12 | 10.3 | 9 | 7.9 | 7 | 6.3 | 5.7 | 5.1 | 4.7 | 4.3 | 3.9 | 3.6 | 3.4 | 3.1 |
| Planktonic development: N1+N2 | 0.106 | 15.5 | 11.5 | 9 | 7.2 | 6 | 5.1 | 4.4 | 3.8 | 3.4 | 3 | 2.7 | 2.4 | 2.2 | 2 | 1.8 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |

Kilde: Hamre, L. A. mfl., 2019, s. 437.

Merk at «majoriteten» brukes som en betegnelse for hele populasjonen (all) som poengtert i beskrivelsen av MnM. Dette skyldes at forfatterne av studien som laget disse modellen brukte 85% som et «cut-off»-punkt for å utelukke unormalt sent utviklede lus fra analysene. På denne måten representerer vekstmodellen majoriteten av populasjonen bedre og er tilpasset generasjonssykluser man kan forvente å se. Vekstmodellen presentert av Hamre, L. A. mfl. (2019) brukes i denne studien for å regne ut «infeksjonsvindu» - her definert som perioden hvor lusen etter vekstmodellen har infisert laksen, funnet ved tilbakeregning fra observasjoner. Vekstmodellen og uttrykkene som tabellen er basert på er beskrevet under.

MnM – Gjennomsnittlig antall stadier en lus har gått gjennom siden infeksjon. Dette er et uttrykk for hvor mange stadier en lus har utviklet seg gjennom siden infeksjonstidspunktet (days post infection/dpi). Det er gitt på en skala fra 0 til 5, hvor 0=hele populasjonen (majoriteten) er kopepoditter (dvs. infeksjonstidspunkt) og 5=hele populasjonen (majoriteten) er voksne. Intervallene (f. eks 1, 2, 3) angir stadier lusen går gjennom, dvs. 3 tilsvarer pre-adult 1 (PA1).

rM – Gjennomsnittlig daglig utviklingsrate. Merk at rM er et uttrykk for gjennomsnittlig daglig utviklingsrate for sent utviklede lus, dette siden ved $MnM=5$ er majoriteten voksne.

Disse uttrykkene skrives matematisk slik:

$$\text{Formel 1: } MnM(T) = a + (bT^2 + cT + d) dpi$$

$$\text{Formel 2: } rM(T) = bT^2 + cT + d dpi$$

Begge uttrykkene er funksjoner av temperatur (T), og a, b, c og d som er konstanter funnet av Hamre, L. A. mfl. (2019) og er ulike for kjønnene, disse er vist i tabell 4. Vekstmodellen forklarte 0,98 av variasjonen for begge kjønn (Hamre, L. A. mfl. 2019).

Tabell 4: Vekstmodell konstanter for hvert kjønn. Se Hamre, L. A. mfl. (2019) for ytterligere informasjon.

| Parameter | Estimate | SE | t (df = 82) | p |
|---------------|-----------|----------|-------------|---------|
| Male | | | | |
| a | -0.354753 | 0.051165 | -6.93352 | <0.0001 |
| b | 0.000677 | 0.000086 | 7.88884 | <0.0001 |
| c | 0.010294 | 0.001997 | 5.15432 | <0.0001 |
| d | 0.005729 | 0.009898 | 0.57879 | 0.564 |
| Female | | | | |
| a | -0.152008 | 0.042580 | -3.56992 | <0.0001 |
| b | 0.000485 | 0.000060 | 8.12457 | <0.0001 |
| c | 0.008667 | 0.001360 | 6.37421 | <0.0001 |
| d | 0.003750 | 0.006596 | 0.56859 | 0.571 |

Kilde: Hamre, L. A. mfl., 2019, s. 435.

Følgelig er $5/rM(T)$ et uttrykk for tidspunktet, gitt i dpi, hvor majoriteten er voksne lus. Dette er best illustrert ved et eksempel, merk at verdiene satt her også vil bli brukt i senere eksempel.

Eks.: Ved 6°C er $rM(T)_{\text{MALE}}=0,091865$ (formel 2), som gir:

$$5/0,091865=54,42769281dpi.$$

Altså tar det ved 6°C ~54 dager før majoriteten av hannlusene er voksne ($MnM=5$). Når uttrykkene « $rM(T)$ », og « $5/rM(T)$ » (gitt ved dpi), er kjent muliggjør dette å regne ut relativ alder (RA) og gjennomsnittlig daglig vekstrate (rRA_{FRAC}) som er beskrevet under.

$$\text{Formel 3: } RA_{\text{FRAC}} = rM(T) * \left(\frac{dpi}{5}\right)$$

$$\text{Eks.: } RA_{\text{FRAC}}=0,091865*(54,42736281/5) = 1$$

Hvor, RA = Relativ alder. Lusens alder gitt som fraksjon av total utviklingstid nødvendig før majoriteten er voksne lus. I eksempelet over er $RA_{FRAC}=1$ siden utgangspunktet for eksemplene er gitt ved $MnM=5$.

$$\text{Formel 4: } rRA_{FRAC}(T) = 1/(5/(rM(T)))$$

$$\text{Eks.: } rRA_{FRAC}(6^{\circ}\text{C})=1/(5/0,091865)=0,018373$$

Hvor, rRA_{FRAC} = Gjennomsnittlig daglig vekstrate i form av RA. Viser hvor mye en lus vokser i fraksjon av 1, hvor 0=kopepoditt og 1=voksen lus, i løpet av en dag ved temperatur (T). I eksempelet vokser altså lusen ~1,8% ved 6°C, men merk at dette kun gjelder for hannlus siden $rM(T)$ er kjønnsesifikk.

Hamre, L. A. mfl. (2019) diskuterer basert på testing at effekten av endring i miljø er relativt liten og at modellen er egnet for å beregne utvikling ved skiftende temperaturer, dog med potensielt mindre feil i presisjon. Det antas også at utviklingsraten er konstant gjennom alle stadier fra kopepoditt til voksen lus, som for hannlus er observert å være tilfellet. For hunnulus er dette derimot ikke tilfellet og en vekstmodell som baserer seg på spesifikke stadier og må følgelig justeres etter hva som er utgangspunktet eller målstadiet i utregningene. Dette er imidlertid ikke relevant for denne studien.

Både *Boxaspen, K. og Næss, T. (2000)* og *Hamre, L. A. mfl. (2019)* har antydnet at det kan være regionale, bestands eller sesongbaserte forskjeller i spesielt temperatortoleranse for planktoniske stadier. Dette skyldes forskjeller i overlevelsesrate og utviklingssuksess mellom stadier som er funnet i ulike studier (*Boxaspen, K. og Næss, T., 2000; Hamre, L. A. mfl., 2019; Samsing, F. mfl., 2016*). Dermed kan det heller ikke utelukkes at utviklingstid i noe grad kan variere mellom lusepopulasjoner. Som kort gjennomgått av *Skern-Mauritzen, R. mfl. (2014)* er flere forskjeller mellom Atlanterhavslus og Stillehavslus allerede observert.

1.3.3 Lokalisering av- og festing til vert

Kritisk i livssyklusen til lusen er lokalisering av- og infeksjon av vertsfisken. En del forebyggende behandlingsmetoder er basert på å hindre lusen i enten å lokalisere eller feste seg til verten (se kap. 1.4.2.2). Tidligere studier antyder at det er en kombinasjon av visuelle, kjemosensoriske og mekanosensoriske systemer som registrerer verts-signaler (Gjennomgått av *Fields, D. M. mfl., 2017*). Visuelle indikatorer kan være flikrende lys, som ved at en laks svømmer over lusen og kaster skygge, dette kan antakeligvis fungere over flere titalls meter.

Kjemiske indikatorer er bevist eksperimentelt å tiltrekke lus ved å bruke vann som laks har oppholdt seg i. Foreløpige studier antyder dog at dette kun er på centimeter-skala, men det er spekulert at en høy tetthet av laks (som i en merd) kan forsterke dette. Hydrodynamiske vertssignaler, gitt av svømmende laks, kan også stimulere lusen og det er antatt at dette virker fra noen millimeters til noen få centimeters avstand (Gjennomgått av *Fields, D. M. mfl., 2017*).

Hvorvidt en laks er mottakelig for infestering av lakselus kan også skyldes håndtering i forbindelse med operasjonell drift, som for eksempel avlusninger. Et eksperimentelt forsøk av *Delfosse, C. mfl. (2020)* har bevist at laks som gjennomgikk håndtering hadde flere lusepåslag enn kontrollgruppen som ikke gjennomgikk håndteringen. Gjennomsnittlig antall Kopepoditter per fisk i den håndterte gruppen var 9,4 +/- 0,7 mot 7,1 +/- 0,4 i kontrollgruppen. Forfatterne konkluderer at mange av dagens avlusningsmetoder paradoksalt nok øker risikoen for re-infestering av lus og understreker viktigheten av forebyggende tiltak.

1.4 Bekjempelse og forebygging

Bekjempelse av lakselus kan deles inn i tre hovedgrupper: bekjempelse, forebygging, og styringstiltak. Bekjempelse er tiltak, kontinuerlige eller etter behov, som har som mål å bekjempe lusepåslag ved å fjerne lusen fra laksen. Bekjempelse er enten medikamentell eller ikke-medikamentell. Forebygging kan være genetiske, medikamentelle eller tekniske løsninger med mål å forhindre lusepåslag enten ved å redusere møter mellom lus og laks, eller forhindre at lusen greier å feste seg når det først skjer. Styringstiltak innebærer gjerne geografisk baserte, synkroniserte handlingsmønstre som gjennomføres blant flere lokaliteter på tvers av selskap. Strategier kan innebære synkronisert brakklegging av oppdrettsanlegg eller rotasjoner for avlusningsmetoder med formål å minimere resistensutvikling.

Styringstiltak vil imidlertid ikke bli gjennomgått ytterligere. I dag brukes det stort sett en kombinasjon av ulike tiltak under produksjon av en generasjon laks (*Bui, S. mfl., 2020; Stien, L. H. mfl., 2018*).

1.4.1 Bekjempelse

1.4.1.1 Kjemisk/medikamentell behandling

Kjemisk/medikamentell behandling av lakselus er en medisinsk tilnærming som baserer seg på badebehandling av fisken eller ved tilsetning i fôr. Bruk av medikamenter har i lang tid vært den vanligste metoden for å bekjempe lakselus. Badebehandling kan gjøres på to måter. Man kan strekke en presenning under noten som stenger for vannutskiftningen og lukker av merden samt reduserer volumet. Deretter tilføres medikamentet etter oppgitte dose og får

virke i oppgitt tid. Alternativt kan fisken pumpes ombord i en brønnbåt hvor de blir behandlet i vannet ombord i brønnbåten. Når behandlingen er over frigjøres medikamentene i det omkringliggende vannet, enten ved at presenningen fjernes, eller ved at brønnbåten pumper ut vannet (*Overton, K. mfl., 2019*). I Norge har de vanligste kjemoterapeutiske midlene for badebehandling vært organofosfatet azamethiphos, pyretroidene cypermetrin og deltametrin, og hydrogenperoksid (*lusedata.no, 2020; Overton, K. mfl., 2019*).

Ved behandling gjennom fôr blir medikamentene tilført fôret under produksjonen og virker gjennom oralt inntak. Det er hovedsakelig tre typer kjemoterapeutiske fôrtilsetninger som brukes ved lusepåslag, emamektinbenzoat, diflubenzuron og teflubenzuron (*Aaen, S. M. mfl., 2015; Overton, K. mfl., 2019*). Medikamenter som fôrtilsetninger har fordeler over badebehandling ved at det er mindre arbeidsintensivt og væravhengig, mindre stressende for fisken og hele lokaliteter kan behandles samtidig (*Lees, F. mfl., 2008*). Emamektinbenzoat er den desidert mest brukte metoden og behandlingen skjer over 7 sammenhengende dager og innebærer en utfôringsgrad på 0,5% av biomasse per dag ved bruk av Slice vet. (*lusedata.no, 2020; Felleskatalogen, 2012*). Behandlingen har en oppgitt effekt på «inntil ca. 60 dager» underbygget av flere studier (*Felleskatalogen, 2012; Stone, J. mfl., 2000a,b,c*) men har vært rapportert å vare så lenge som fem måneder (*Lees, F. mfl., 2008*).

Ulike medikamenter har ulike virkemåter og noen virker kun mot spesifikke utviklingsstadier. Eksempelvis er hydrogenperoksid kun effektivt mot de mobile stadiene (*Statens legemiddelkontroll, 2000*), mens pyretroidene cypermetrin og deltametrin er effektivt mot alle utviklingsstadier, men effekten varierer med temperatur (*Burridge, L. mfl., 2010; Torrissen, O. mfl., 2013*). Både miljøhensyn og en synkende effekt som følge av resistente lus har imidlertid ført til stor interesse for utvikling av nye metoder for forebygging og bekjempelse som i de senere årene har blitt dominerende.

1.4.1.2 Ikke-medikamentell avlusning

Det er i hovedsak fire typer ikke-medikamentell avlusning som brukes, disse er: termisk- og mekanisk avlusning (brønnbåt), ferskvannsbehandling (brønnbåt/merd), og rensefisk (merd). **Termisk avlusning** baserer seg på de biologiske grenseverdiene for temperatur og utsetter laks og lus for høye temperaturer over korte perioder (*Overton, K. mfl., 2019*). Dette innebærer et vannbad på rundt 30 sekunder i temperaturer mellom 28 og 34°C som tar livet av lusen (*Mattilsynet, 2019*). Dette er imidlertid også i grenseland for hva laksen tåler men lusen med sin adskillig mindre kroppsstørrelse har en kortere overlevelsestid (*Overton, K. mfl., 2019*). Metoden ble av Mattilsynet anbefalt utfaset innen to år i 2019, en anbefaling som

senere ble løftet med forutsetning at «effekten mot lusa er god og behandlingen gjennomføres på en forsvarlig måte» (Mattilsynet, 2021).

Metoden for **mekanisk avlusning** avhenger av leverandør men innebærer kort fortalt lavtrykksvaskere (Flatsetsund, FLS), og eventuelle børster (SkaMik), eller et lukket rør med høy grad av vertikal vannturbulens som fører til at lusen mister vakuemet mot fiskens overflate (Hydrolicer) (Overton, K. mfl., 2019; Smir.no, Hydrolicer). Det har forekommet massedød av laks i etterkant av behandling med spylbasert mekanisk avlusning (Lien, A. M. mfl., 2016) men veterinærinstituttet har undersøkt FLS og konkludert med at metoden er velferdsmessig akseptabel når gjennomført korrekt (Veterinærinstituttet, 2017).

Ferskvannsbehandling kan enten gjøres ved å pumpe laksen om bord i en brønnbåt med ferskvann, eller ved å pumpe ferskvann inn i en merd omsluttet av en presenning eller et skjørt (Holan, A. B. mfl., 2017). Metoden er antatt å være mest effektiv mot de fastsittende stadiene mens pre-adulte og voksne lus kan overleve på verten i opp til 24 timer med eksponering. Det osmotiske sjokket ved direkte overføring fra sjøvann til ferskvann er også antatt og stå for noe av effekten, samt den mekaniske håndteringen det innebærer å pumpe fisken. En studie har vist at andelen kopepoditter ble redusert med 100%, pre-adulte med 97% og voksne hunner med 92% (Holan, A. B. mfl., 2017).

Rensefisk innebærer lite påkjenning og stress for laksen i forhold til andre avlusningsmetoder men reiser etiske problemstillinger rundt velferden til rensefiskene (Holan, A. B. mfl., 2017). Som påpekt av Overton, K. mfl. (2020) er det også en “mismatch” mellom tilgjengelig forskning/bevismateriale og den utbredte bruken. Rensefiskene kan muligens også utgjøre en trussel mot laksen som sykdomsvektor (Birkbeck, T. H. og Treasurer, J. W., 2013; Haugland, G. T. mfl., 2017). Ved lavere temperaturer og høyere breddegrader er rognkjeks (*Cyclopterus lumpus*) den mest utbredte arten, rapportert effekt varierer mellom 9% reduksjon i alle lusestadier til 73% reduksjon i pre-adulte og adulte stadier (Overton, K. mfl., 2020ab).

1.4.2 Forebyggende metoder

Mange forebyggende metoder er hypotetisert eller under ulike utviklingsstadier. Metoder som ikke utfyllende blir nevnt eller kategorisert på bakgrunn av lite vitenskapelig dokumentasjon, lite kommersiell interesse/utprøving eller relevans for avhandlingen blir her kort oppsummert: Vaksiner finnes på ulike utviklingsstadier (se Holan, A. B. mfl., 2017) men har vist seg å være vanskelige å utvikle mot ektoparasitter med kun en vaksine ansett som høyst

effektiv, mot parasitten storfe flått (*Rhipicephalus microplus*) (Barrett, L. T. mfl., 2020). Et “strømgjerde” som sender ut strømpulser via elektroder har også vært testet i perioden 2015-2019 ved kommersielle oppdrettsanlegg med media-rapporterte lovende resultater (sfd.no; Soltveit, T., 2018ab). Andre metoder inkluderer filter-fødende organismer rundt lokaliteten, ultralyd og strategisk plasserte lys- og lokkefeller (Barrett, L. T. mfl., 2020; Holan, A. B. mfl., 2017).

1.4.2.1 Festesuksess

Funksjonelt fôr deler mange likhetstrekk med kjemoterapeutiske fôrtilsetninger men inneholder som regel naturlige ingredienser som antioksidanter, essensielle oljer eller organiske syrer (Barrett, L. T. mfl. 2020; Jensen, L. B. mfl., 2014). I et eksperiment av Jensen, L. B. mfl. (2014) ble det funnet at en kombinasjon av naturlige identiske forbindelser av essensielle oljer tilsatt i fôret reduserte lusepåslag med 15% mot en kontrollgruppe. Det er antatt at dette er på grunn av antiparasittiske- og/eller en frastøtende effekt som er dokumentert for landdyr men ikke fisk (Jensen, L. B. mfl., 2014). I dag tilbys funksjonelt fôr av en rekke tilbydere som Skretting, Cargill og BioMar (se selskapenes respektive nettsider). Kamouflering av verts-signaler kan også oppnås ved kontinuerlig badebehandling som forsøkt med 2-Aminoacetophenone av Hastie, L. mfl. (2013) (se også O'shea, B. mfl., 2016).

Avling av luseresistent laks er utprøvd og AquaGen og SalmoBreed kan allerede tilby luseresistent smolt til oppdrettere (Barrett, L. T. mfl., 2020). Selektiv avl har pågått i mange tiår innen lakseoppdrett og har hatt stor suksess for både tilvekst og redusert respons til stress hos Atlantisk laks (Solberg, M. F. mfl., 2013). Naturlig genetisk variasjon i luseresistens blant Atlantisk laks kan derfor også bidra til å redusere lusepåslag (Robledo, D. mfl., 2019). Potensialet for å avle frem luseresistens er antatt å være større enn mange andre egenskaper som det i dag gjøres utvalg for. SalmoBreed har rapportert 10% lavere lusetetthet i avlskjernen ved tradisjonell familiesелеksjon over 2,5 generasjon og AquaGen rapporterte 49-68% flere lus på en lavresistent laksefamilie kontra en høyresistent familie (Holan, A. B. mfl., 2017). Barrett, L. T. mfl. (2020) rapportere også at et eksperiment over to generasjoner genomisk seleksjon førte til 40-45% redusert lusepåslag versus ikke-selektert laks over en 5 dagers periode. Merk dog at de ovennevnte eksemplene ikke er basert på vitenskapelig testing men er rapportert ved konferanser av representanter for bedriftene AquaGen og SalmoBreed.

1.4.2.2 Vert-parasitt møter og barriereteknologi

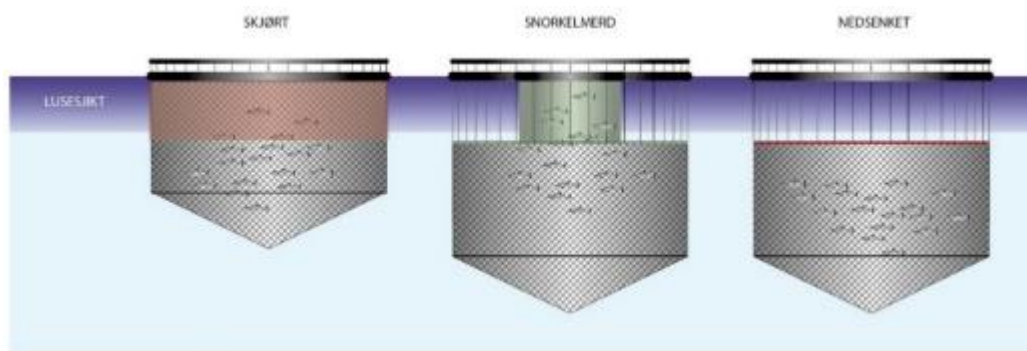
Svømmedybden til laksen kan manipuleres ved bruk av nedsenkbare lys og/eller undervannsfôring med mål om å redusere møter mellom parasitt og vert. Målet er hovedsakelig å få laksen til å svømme under nivået hvor lakselus er mest utbredt i det infeksjøs kopepoditt stadiet (*Barrett L. T. mfl., 2020*). Lysmanipulering har lenge vært brukt for å bedre tilvekst, fôrfaktor og redusere tidlig kjønnsmodning men kan også brukes for å manipulere svømmedybde (*Hevrøy, E. M. mfl., 2003*). *Huse, I. og Holm, J. C. (1993)* demonstrerte tidlig at laks i en dyp merd (20m) hadde mindre lusepåslag enn laks i en grunn merd (6m), videre demonstrerte *Hevrøy, E. M. mfl. (2003)* at laks holdt i dypere vannlag (>4m) hadde mindre lusepåslag enn laks holdt mellom 0 og 4 meter. *Frenzl, B. mfl. (2014)* fant også lavere lusepåslag ved bruk av dypere lys (10m) kontra grunne lys (1,5m) i et forsøk ved et kommersielt oppdrettsanlegg. Dog ble det ikke funnet noe effekt av undervannsfôring i samme eksperiment. *Nilsson, J. mfl. (2017)* fant derimot ikke noe effekt av dype undervannslys og dyp fôring, men rapporten drøfter at dette kan skyldes en observert haloklin med brakkvann i de øvre vannmassene.

Svømmedybden kan også manipuleres ved bruk av luseskjørt som demonstrert av *Gentry, K. mfl. (2020)*. I et eksperiment ved et kommersielt oppdrettsanlegg ble det observert at i merder utstyrt med 6 meters luseskjørt og dypvannslys svømte laksen på en gjennomsnittlig dybde på 11,1 meter (+1,9m). Dette kontra merder med kun dypvannslys hvor laksen hadde en gjennomsnittlig dybde på 6,6 meter (+0,8m). I tillegg var det to forsøks grupper til uten verken luseskjørt eller dypvannslys hvor fisken svømte på de gjennomsnittlige dybdene 4,1m (+0,04m) og 4,2m (+0,5m).

Funnene av *Nilsson, J. mfl. (2017)* som er i strid med *Hevrøy, E. M. mfl. (2003)* og *Frenzl, B. mfl. (2014)* understreker behovet for kompetanse om tiltak som settes i verk. Normalt vil lakselusen holde seg i de øvre vannmassene men ved spesielle miljøforhold kan lusen avvike fra dette. Sett i kombinasjon med at lusen reagerer fototaktisk positivt på lys kan man i prinsippet risikere å lokke lus mot merden med dypvannslysene. I et slikt tilfelle kan det være at det beste for å hindre lusepåslag er å la laksen svømme i brakkvannslaget som de infeksjøs kopepodittene unngår, eller senke lys og fôrspreder ytterligere.

Snorkelmerder brukes i kombinasjon med dypvannsfôring for å legge til en ekstra barriere mellom parasitt og vert. En snorkelmerd er utformet slik at det i de øvre vannlagene, hvor lakselusen er antatt å befinne seg i det infeksjøs kopepoditt stadiet, er en fysisk barriere som hindrer kontakt, men som lar laksen nå overflaten gjennom en vertikal kanal for å fylle

svømmeblæren (Fig. 1, midten) (Stien, L. H. mfl., 2016). Denne typen merder har lovende eksperimentelle resultater med minimale fiskevelferds virkninger og kan også bidra til å ikke-medikamentelt behandle amoebisk gjellesykdom ved å skape ferskvannslag i den vertikale kanalen (Stien, L. H. mfl., 2016; Wright, D. W. mfl., 2017). Dybden på snorkelen har stor effekt for virkningen som demonstrert av *Oppedal, F. mfl. (2017)* og et eksperiment over en hel produksjonssyklus med 10 meter dyp snorkel fant 75% reduksjon i nylig festede lus og reduserte lusebehandlinger med en faktor på nesten 2 når målt mot standard merder (*Geitung, L. mfl., 2019*). **Nedsenkbare merder** fungerer på samme prinsipp som snorkelmerder, altså å hindre at kopepoditter i de øverste vannlagene ikke når laksen (Fig. 1, høyre). Per i dag er de under utvikling og testing av blant andre Atlantis Subsea Farming og Norway Royal Salmon (Arctic Offshore Farming).

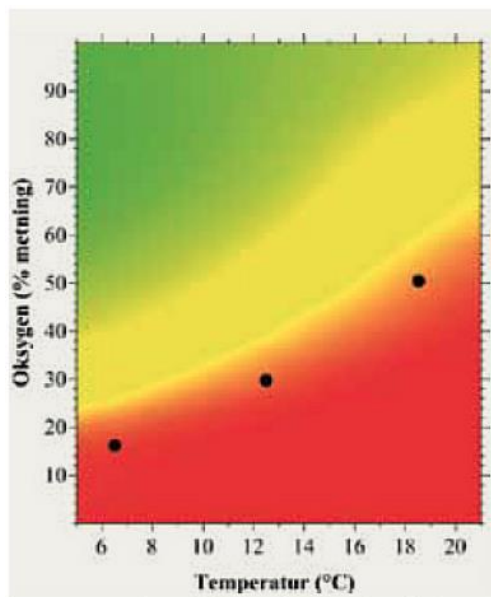


Figur 1: Illustrasjon av luseskjørt, snorkelmerder og nedsenkbare merder. Illustrasjon av Oddvar Dahl@Nofima (Holan, A. B. mfl., 2017).

Luseskjørt kan på mange måter sies å være forgjenger til de to ovennevnte metodene. En helt tett presenning eller en semi-permeabel finmasket planktonisk duk henges rundt øvre del av en konvensjonell merd for å hindre kontakt mellom vert og parasitt (fig. 1, venstre) (*Barrett, L. T. mfl., 2020; Holan, A. B. mfl., 2017*). Metoden har lenge vært brukt av næringen og en rekke forsøk har demonstrert dets virkning på lusepåslag (*Holan, A. B. mfl. 2017*). Ved bruk av semi-permeable skjørt er det en oppveining mellom maskevidde/tetthet på duken, effekt og hvor mye drag den kan skape ved ulike strømforhold. Det er antatt at ved maskevidde $350\mu\text{m}$ ($0,35\text{mm}$) kan man fortsatt risikere at et begrenset antall kopepoditter kan ta seg gjennom duken (*Næs, M. mfl., 2012*) (se også tabell 1).

En studie på vanngjennomstrømming viste at et 5 meters, $350\mu\text{m}$ skjørt reduserte gjennomstrømmingen med ca. 50-55% ved svak til moderat strøm og ved økende strøm ble reduksjonen større (*Næs, M. mfl., 2012*). Redusert vannutskiftning, spesielt ved bruk av presenninger, kan føre til uakseptable oksygenivåer i de øverste vannlagene innenfor skjørtet

(Holan, A. B. mfl., 2017). Dette var tilfellet i et kommersielt eksperiment med et 3 meters presennings skjørt som måtte avbrytes etter 7 dager (Stien, L. H. mfl., 2012). I dette eksperimentet ble fisken diagnostisert med pankreassykdom, noe som kan ha ført til høy konsentrasjon av fisk i overflaten. Dermed har forbruket av oksygen økt i den skjermede delen av merden og vannutskiftningen med skjørtet ble ikke tilstrekkelig. Figur 2 viser nedre kritiske oksygenmetning for fullfôret laks på 400g.



Figur 2: Oksygenmetning i % mot temperatur. Punktene viser nedre kritisk oksygenmetning for fullfôret laks på 400g. Gradientene viser: grønn (optimal), gul (suboptimal), oransje (toleransgrense) og kritisk (rød). Grensen mellom gul og grønn sone er usikker. Hentet fra Frank, K. og Lien, A. M., 2015. Opprinnelig publisert av Oppedal, F., 2011.

Temperatur og oksygenmetning er ikke bare representert ved et kritisk lavt nivå, men også et optimalt nivå for appetitt og vekst. EFSA (2008) anbefaler og holde oksygenmetningen på over 70% for å oppnå maksimal appetitt og vekst. Det skrives også at det er indikasjoner på at appetitt og vekst hemmes ved nivåer under 80%. Som vist av figur 2 er dette høyst avhengig av temperatur. En studie på post-smolt Atlantisk laks (~ 0,3-0,5kg) fant at minimum oksygenmetning for maksimalt fôrinntak varierte fra 42 til 75% mellom 7-19°C (Remen, M. mfl., 2016). Optimal temperatur (for vekst) hevdes å være debattert, Remen, M. mfl. (2016) har ved litteraturgjennomgang funnet at nedre og øvre temperaturgrense for vekst er henholdsvis $\leq 4^{\circ}\text{C}$ og $\geq 19^{\circ}\text{C}$. Optimal temperatur for post-smolt Atlantisk laks hevdes å være 18-19°C, mens optimal temperatur for vekst angivelig er 13-14°C for 150-300g post-smolt og for voksne laks på 1,6 kg $\leq 13^{\circ}\text{C}$.

Ved strømutsatte lokaliteter er det gjort erfaringer fra næringen om at skjørtene blir presset oppover av strømmen. Dette fører igjen til at den effektive dybden til luseskjørtene blir

reduisert (*Lien, A. M. mfl., 2016*). Dette ble også observert av *Lien, A. M. og Volent, Z. (2012)* ved høye strømhastigheter. Skjørtet ble presset bakover og opp mot overflaten som resulterte i en lavere effektiv dybde og enklere passasje for lusen under skjørtet. I et eksperimentelt småskalaforsøk gjort med fallskjermduk ble deformering og ekstra belastning på fortøyninger undersøkt, og til tross for sterk strøm viste forsøket liten grad av deformering på noten når merder er utstyrt med bunnring. Dette fordi skjørtet presses mot, og holdes nede av friksjonen mot kjettingene/tauene som går til bunnringen. Undersøkelsen viste også en økt belastning på fortøyningene, spesielt som følge av «oppblåsing» av skjørtet på lesiden av strømmen (*Lien, A. M. og Volent, Z., 2012*). Enten man bruker tette eller semi-permeable skjørt vil det føre til en belastning på fortøyninger og må tas med i lokalitetens fortøyningsanalyse (*Karlsen, R., 2016*).

Et fargeforsøk med 5 meter dype presenningsskjørt har vist at til tross for den fysiske barrieren vil overflatevann trenge inn i merden (*Frank, K. mfl., 2013*). I forsøket ble vannet presset rundt langs sidene av merden, men fargestoffet dukket etter hvert opp inni merden også. Forfatterne foreslår at dette kan forårsakes ved at vannet går under skjørtet, kommer inn i merden og strømmer oppover igjen. I ett tilfelle var fargestoffet synlig i merden mer enn 45 minutter etter starten av forsøket. Høyeste målte strømhastighet var 0,25m/s. *Klebert, P. og Su, B. (2020)* viste en reduksjon i strømstyrke målbar minst tre merddiameterer nedstrøms fra merden med luseskjørt, turbulens i vannmassene var også signifikant forhøyet i de 20 øverste meterne av vannsøylen. Lokale hydrodynamiske forhold er unike for hver lokalitet som følge av blant annet batymetri, strømstyrke og halo/termokliner (*Klebert, P. og Su, B., 2020*). Følgelig er det ekstremt vanskelig å kunne si noe om effekt av strømstyrke fra ulike retninger og hvordan disse vil påvirke enkeltmerder utover de som treffes av vannmassene først.

Et omfattende eksperiment av *Næs, M. mfl. (2014)* med 6 og 10 meters skjørt med en maskevidde på 350µm fant at 6 og 10m skjørt reduserte gjennomsnittlig antall fastsittende lus med henholdsvis 28% (variasjon: 7-44%) og 49% (variasjon: 30-62%). Ved regresjonsanalyse, som tar hensyn til smittepress og bruk av skjørt, ble det funnet at en lokalitet med 6m skjørt hadde redusert gjennomsnittlig antall fastsittende lus med 69% (variasjon: 44-83%). En lokalitet hvor alle merdene hadde 10m skjørt ble sammenliknet med nabolokaliteter og smittepress ble beregnet, resultatet viste en tydelig skjermingseffekt mot kopepoditter og lokaliteten slapp unna med en avlusning kontra gjentatte avlusninger ved nabolokalitetene. Til tross for at kopepoditter er mest tallrike mellom 0-4 meter viste eksperimentet at 10 meters skjørt var mer effektivt enn 6 meters skjørt.

Flere studier har validert den positive effekten av luseskjørt. *Grøntvedt, R. N. mfl. (2018)* har estimert skjermingseffekten av luseskjørt ved beregning av internt- og eksternt smittepress ved 5 lokaliteter. Merdene ved lokalitetene har i varierende grad vært utstyrt med semi-permeable luseskjørt (350µm maskevidde) av enten 6 eller 10 meters dybde og målt mot kontrollmerder uten skjørt. Eksperimentet viste en reduksjon på 30% pre-adulte og adulte hannlus (PAAM) ved bruk av luseskjørt med størst effekt ved høyt smittepress. På grunn av datagrunnlaget kunne det ikke demonstreres noen forskjeller i skjermingseffekt mellom 6- og 10 meters skjørt.

En annen studie av *Stien, L. H. mfl. (2012)* viste et >80% redusert lusepåslag med et 10 meter dype 350µm skjørt. Oksygenivåer var på det meste redusert med opptil 35%-poeng i merder med skjørt versus uten. Dog ble det ikke registrert noe forskjell i velferdsindikatorer og oksygensaturasjonen i vannet var alltid over 70%. Studiet viste altså en stor reduksjon i lusepåslag, uten negative velferdsfølger. I denne studien er det ikke tatt hensyn til oksygenverdier. Det ble avgjort ved intervju av driftsledere hvor ingen av lokalitetene har vært plaget med lave oksygenverdier og det er ytterst sjelden at verdiene blir så lave at det krever tiltak.

Som beskrevet ovenfor er skjermingseffekten undersøkt i flere studier. En rekke studier har også fokusert på vannutskiftning og velferdsindikatoren oksygen. Tilsynelatende er det imidlertid gjort lite forskning på miljøforhold som, til tross barrieren, forklarer de fortsatt tilstedeværende lusene. Som vist i fargeforsøket vil overflatevann gjerne trenge inn i merdens omkrets til tross for luseskjørtet (*Frank, K. mfl., 2013*), men tilsynelatende er det ingen studier på observert luseinntrengning og infeksjon. En kanskje mindre åpenbar infeksjonsvei enn vann som sirkuleres *under* skjørtet er sjøsprøyt som kan komme *over*. For å ta fargeeksperimentet som eksempel, dersom sjø-forholdene hadde vært preget av bølger og vind er det svært nærliggende å anta at farget vann ville entret merden også over barrieren luseskjørtet utgjør.

1.5 Resistens

Lakselus som er resistente mot de mest vanlige medikamentelle behandlingene er i dag utbredt langs hele norskekysten i varierende grad (*Helgesen, K. O. mfl., 2020*). Ved hyppig bruk av medikamentelle avlusningsmetoder vil lus som innehar egenskaper for å overleve disse behandlingene i praksis bli selektert ut og tillat og formere seg. Denne nye generasjonen lus vil da i mindre grad være mottakelig for denne typen avlusing (*Aaen, S. M. mfl., 2015*). I

tillegg har lusen i noen regioner utviklet dobbel eller trippel resistens, altså mot flere behandlingsmetoder (HI, 2018).

Siden 2013 har Norge overvåket resistensutbredelse og grad gjennom et eget overvåkningsprogram. Programmet overvåker antall behandlinger og utfører toksikologiske eller molekylære resistenstester på prøver av lakselus fra en rekke lokaliteter langs kysten (Helgesen, K. O. mfl., 2020). Rapporten for 2019 viste en økning i antall medisinske behandlinger fra året før for alle behandlinger utenom hydrogenperoksid, total økning var 16% fra 2018. Resistens mot azametifos, deltametrin og emamektinbenzoat gjør at behandlingseffekt av disse metodene kan forventes å være redusert, dette var også tilfellet for hydrogenperoksid, men i mindre grad. For de fire nevnte behandlingene har resistensen vært synkende siden 2017, trolig som følge av skiftet til ikke-medikamentelle metoder. Resistens mot emamektinbenzoat var imidlertid økende fra 2018 til 2019. Grad av resistens mot de forskjellige behandlingsmetodene er i stor grad avhengig av region (Helgesen, K. O. mfl., 2020, Helgesen, K. O. og Qviller, L., 2020). For diflu- og teflubenzuron er det foreløpig ikke sikre indikasjoner på resistens (Sjømat Norge, 2020).

Utvikling av resistens er ikke nødvendigvis eksklusiv til medisinsk behandling. Coates, A. mfl. (2020) observerte relativt stor variasjon i oppførsel mellom familier av lakselus i respons til trykkendringer som simulerte ulike dyp i vannsøylen. Resultatene er en indikasjon om at ulike familier og deres respons til ulike dyp kan være genetisk. Hvis det er tilfellet kan lus utvikle «resistens» mot barriereteknologi som snorkel- og luseskjørt ved seleksjon. Lus som i større grad var passive ved trykkendring vil ha større sjanser for å befinne seg på tilstrekkelige dyp til å unngå barrierene og entre merdvolumet (Coates, A. mfl., 2020). Ljungfeldt, L. E. R. mfl. (2017) har også vist genetisk variasjon i toleranse mot varmt vann, samt en mulig genetisk variasjon i salinitetstoleranse. Dette ble gjort ved å utsette lus fra forskjellige familier til like forhold og sammenlikne overlevelse. Salinitetstesten kunne ikke utelukke enkelte feilkilder men pekte i retning av familiære ulikheter. Andrews, M. og Horsberg, T. E. (2020) har imidlertid påvist ulik salinitetstoleranse ved sammenlikning av fire ulike familier, samt demonstrert en relativt enkel bioassay metode for testing ved lokaliteter.

1.6 Problemstilling og hypoteser

Hovedmålet med studien er å identifisere miljøparameter som fører til lusepåslag i individuelle merder beskyttet av luseskjørt. Dette gjøres med en hypotese om at det er gitte naturforhold som fører til økt risiko for luseinntrengning i en «beskyttet» merd.

Miljøparameterne som brukes er basert på tidligere forskning, som nevnt ovenfor, og inkluderer blant annet havstrøm, vind og salinitet. Havstrøm antas å virke negativt på luseskjørtene ved redusert effektiv dybde ved høy strøm. Strøm, enten alene eller i sammenheng med salinitet, er ventet å ha den største negative virkningen. Vind brukes som en proxy-variabel for vindgenererte bølger. Hypotesen er at vinddrevet sjøsprøyt inn i merder er en mulig inntrengningsvei for lakselusen. Sammenliknet med strøm er denne variabelen i stor grad situasjonsbetinget og utgjør trolig en mindre total effekt men kan være en type hendelse det er mulig å isolere og undersøke.

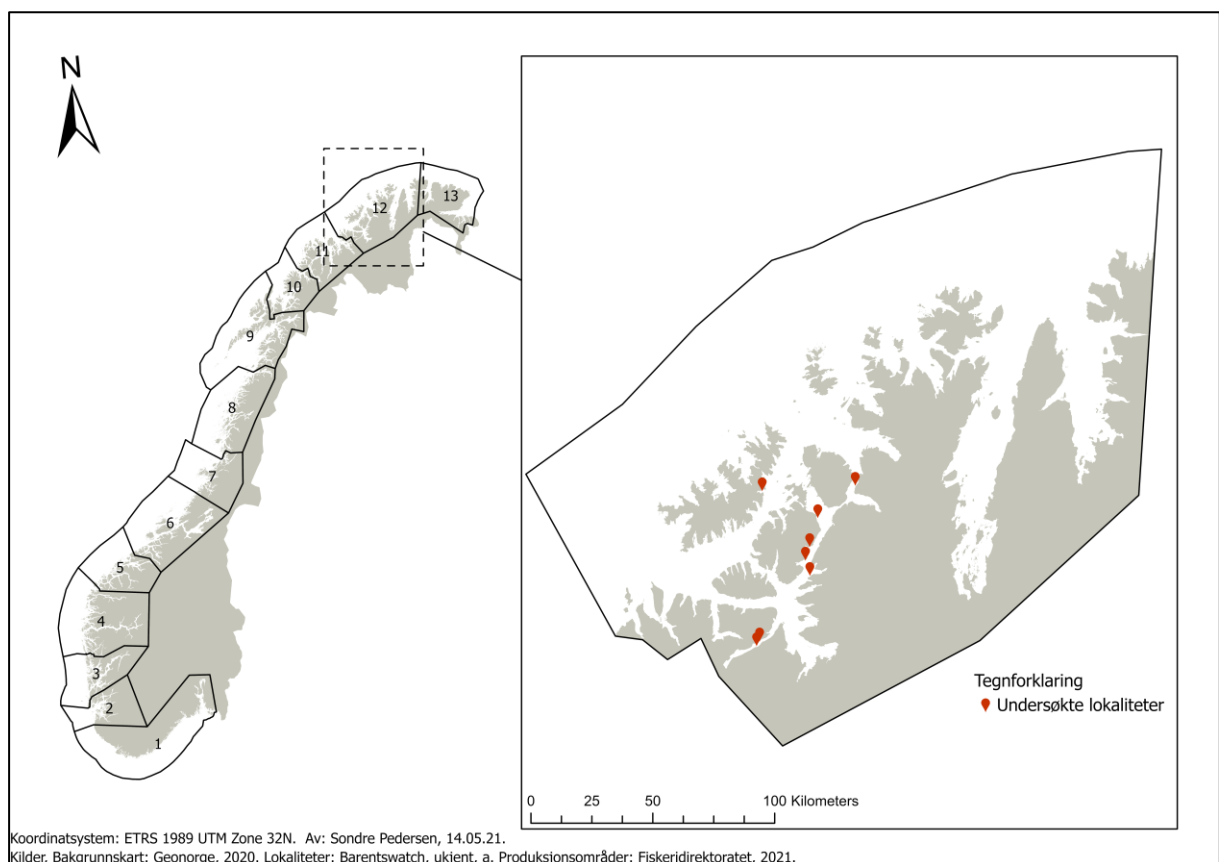
I den sammenheng ble grad av eksponering for både havstrøm og vind fra ulike retninger kartlagt for hver merd i de undersøkte lokalitetene. Grad av eksponering som undersøkt i denne studien er gitt av observerte strøm- og vindforhold. Innad i hver lokalitet er en merds eksponering en funksjon av de nevnte forholdene, som også kan inkludere salinitet. Det antas en skjermingseffekt av omkringliggende merder gitt som obstruksjoner for strøm eller vindgenererte bølger. Det forsøkes å finne både generelle og lokale forhold som kan føre til luseinntrengning. Studien er tilsynelatende den første til å undersøke miljøforhold, basert på faktiske observasjoner, som virker i favør luseinntrengning ved bruk av luseskjørt. Dette gjelder også den antatt sjøsprøyt/vind-drevne infeksjonsveien *over* luseskjørtet som hittil ikke er beskrevet.

Identifisering av overnevnte forhold er blant annet viktig for utarbeidelse av presise prediksjonsmodeller. Dersom det er et godt grunnlag for å kunne bestemme enkeltmerders lusesituasjon muliggjør det å i større grad enn i dag å gjøre merdspesifikke tiltak. Lusebehandling skal i dag etter den tidligere nevnte *forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg* paragraf 9 i utgangspunktet gjøres i alle merder ved en lokalitet når nødvendig, men kan begrenses til enkeltmerder om det kan dokumenteres at det er unødvendig. Videre er det helt sentralt i videre arbeid med utvikling av gode og målrettede lusetiltak å kjenne de naturgitte forutsetningene som påvirker luseinntrengning. Det er gjort mye forskning og utvikling på både bekjempelse og forebygging av lakselus. Mange lovende strategier er under utvikling og vil trolig føre til at enhver lokalitet i tiden fremover vil benytte seg av enda flere ulike metoder for bekjempelse og forebygging.

Studien utføres på oppdrag av- og i samarbeid med Cermaq Norway AS, heretter omtalt som kun Cermaq, som bidrar med nødvendige produksjons data fra deres lokaliteter i Vest-Finnmark. Lokalitetene som undersøkes her benytter seg av konvensjonelle «åpne» merder og

6 meters tette presenning luseskjørt. Produsent av luseskjørtene varierer noe mellom lokaliteter og merder men er ikke tatt høyde for. Det ble ikke benyttet rensfisk ved noen av de undersøkte lokalitetene i perioden. Produksjonsområde og plasseringen til de undersøkte lokalitetene er vist i figur 3. Akvaplan-NIVA, et datterselskap av Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA), og heretter kun omtalt som NIVA er også en stor bidragsyter med deres modellerte havstrøm, temperatur og salinitetsdata. Disse er hentet fra NIVAs' «Finite Volume Community Ocean Model (FVCOM)»-modell som beskrives nærmere i kapittel 2.2.4.

Studien er utelukkende basert på historiske data og inkluderer ikke eksperimenter eller forsøk. Dette er motivert av den enorme mengden datamateriale oppdrettsselskaper innehar men som tilsynelatende utnyttes i liten grad både av næringen og innen akademia. Følgelig er et delmål med studien å evaluere egnetheten av produksjonsdata tilgjengeliggjort av Cermaq som innebærer å vurdere kvalitet og struktur på tilgjengeliggjort datamateriale. Databehandlingen er derfor nøye beskrevet, og avslutningsvis diskutert, for å sette fokus på utfordringer ved bruken av dette materialet.



Figur 3: Produksjonsområder i Norge, og undersøkte lokaliteter i produksjonsområde 12.

2 Metode

2.1 Sammendrag

Gjennom hele det metodiske arbeidet i studien har tidligere forskning (se referanser brukt i kapittel 1) vært grunnlaget for alle vurderinger og beslutninger. Problemstillingen og hypotesene som testes er utarbeidet med bakgrunn i biologiske forutsetninger og barriereteknologiens (luseskjørtenes) virkemåte. I startfasen av prosjektet ble det gjort flere større litteratursøk for å dekke mulige relevante områder knyttet til temaet lakselus. Med utgangspunkt i Cermaqs produksjonsdata, som muliggjør å skille enkeltmerder, har datainnsamlingen hovedsakelig handlet om å innhente så detaljerte og høyoppløst data som mulig. Opprinnelig var det tenkt å bruke sensordata fra Cermaqs lokaliteter, men disse viste seg raskt å ha større mangler. Spesielt strømdata var mangelfull og kun tilgjengelig for utvalgte steder. Også temperatur og salinitet var tidvis fragmentert og ble til slutt valgt bort av tidshensyn.

Søk på alternative kilder for havstrøm og andre miljøparameter gav flere muligheter. Blant annet var partikkelspredningsmodellen lagrangian adveksjon og diffusjonsmodell (LADIM), NorKyst800 og rådata fra meteorologisk institutt vurdert for ulike formål. Det endelige valget falt imidlertid på Akvaplan NIVAs' FVCOM som inneholdt høyoppløste miljøparameter relevante for studien, denne beskrives nærmere i kapittel 2.2.4. Modellerte data var senest tilgjengelig for 2018 og studieperioden ble dermed satt. Opprinnelig var det ønskelig med data for hele året, dette viste seg raskt å være umulig uten større ressurser for dataprosessering. Studieperioden ble derfor snevret inn til lusesesongen. De eksakte datoene ble valgt ved å gjennomgå lokaliteter med produksjon høsten 2018 og se på utvikling av lusesituasjon for hver enkelt av disse. Miljødata ble så etterspurt i et delvis prosessert format for perioden 1. juni – 30. august.

Modellerte data fra NIVA var ikke tilgjengelig før over nyåret 2021 på grunn av forsinkelser i modelleringen. Dette i kombinasjon med at rensing av produksjonsdata viste seg å være svært tidkrevende gjorde at tidsbruk på prosessering av data måtte holdes på et minimum. En rekke alternative metoder for å utnytte de høyoppløste modellerte parameterne ble fortløpende vurdert, men tidsaspektet ble den viktigste faktoren. De endelige resultatene skulle avslutningsvis knyttes opp mot produksjonsdata som tilvekst og ulike tiltak vurderes fra et økonomisk perspektiv. Studien tok etter hvert en mer ren biologisk retning, og økonomiske

konsekvenser måtte prioriteres bort til fordel for å kunne produsere en så solid metode og analyse som mulig innenfor tidsrammen for prosjektet.

Analytiske tilnærminger til problemstillingen ble fortløpende utarbeidet, vurdert og i mange tilfeller forkastet. De senere beskrevne «hendelsene» ble utarbeidet med bakgrunn i de biologiske forutsetningene for lusene og er antatt å medføre forhøyet inntrengnings- og infeksjonsrisiko. Hvordan miljøparameter og hendelser skulle knyttes til infeksjon var en utfordring ettersom infeksjonstidspunktet basert utelukkende på observasjoner er ukjente. Følgelig ble det forsøkt å tilpasse vekstmodellen av *Hamre, L. A. mfl. (2019)* for å finne infeksjonstidspunktet basert på temperatur og utviklingstider. Dette utgjør en av to brukte metoder. Tilnærmingen krympet utvalget betraktelig og det som i utgangspunktet var tenkt å være en kvantitativ undersøkelse på individuelle merder ble begrenset av nødvendige forutsetninger for analysene. Dette er derfor en mer generell tilnærming til miljøforhold og inntrengning/infeksjon. Totalt blir det undersøkt 24 merder ved 8 lokaliteter.

I tillegg til den overnevnte metoden var en rekke ulike tester vurdert, blant annet sammenlikning av lokaliteter basert på generell eksponering for strøm og vind. Denne ble utelukket med bakgrunn i for mange ulike forutsetninger for lusens feste- og inntrengningssuksess mellom lokalitetene. Ulike forsøk på å teste isolerte variabler ble også vurdert men på grunn av interaksjoner mellom variablene gjorde det til dels vanskelig å undersøke enkeltvariabler.

Tid-til-avlusning med og uten skjørt ved sammenliknbare lokaliteter gitt ved strømstyrke var også lenge vurdert. Dette med en baktanke om en mer dynamisk tilnærming til bruk av luseskjørt, og en mulig fordelaktig effekt av å heve disse i gitte perioder. Blant annet for å bremse utvikling av internt smittepress. Metoden ble skrinlagt basert på etiske problemstillinger knyttet til å bevisst frigjøre kopepoditter. De negative konsekvensene kan blant annet være forhøyet eksternt smittepress ved nærliggende lokaliteter og en mulig negativ effekt på villfisk. Positive konsekvenser for aktuell lokalitet kunne vært et noe redusert avlusningsbehov.

Den andre metoden som brukes er gjort med antakelsen at det vil være observerbare ulikheter i lusepåslag mellom merder internt i en lokalitet. For denne metoden blir enkeltmerders grad av eksponering for strøm og vind kartlagt. I motsetning til førstnevnte metode tar ikke denne hensyn til «observerte» hendelser basert på miljøparameter men kategoriserer merder på et

mer generelt grunnlag basert på tilgjengelig datamateriale. Denne metoden brukes over en kortere periode på tre utvalgte lokaliteter.

2.2 Datainnsamling og behandling

2.2.1 Produksjonsdata fra Fishtalk (Cermaq)

Fishtalk (AKVA group) er Cermaqs interne rapporteringssystem for alle produksjonsrelaterte tall fra alle oppdrettslokalitetene i Finnmark. Blant relevante data registreres smoltleverandør og smolt-type samt stamfisk, type (eks. 0- eller 1-åringer), biomasse, utsett- og slaktetidspunkt samt avlusninger, inklusive metode. I tillegg til disse ble også tall fra de (bi)ukentlige lusetellingene brukt. I lusetellingene skiller det mellom «juvenile» (fastsittende), «movable» (bevegelige) og adult females (voksne hunnlus) lus. All data er tilgjengelig på en per lokalitet og per merd basis. Etter samtaler med Akvaplan NIVA om FVCOM-modellen som ble brukt for miljøparameter ble tidsrommet for studien satt til 2018. Produksjonsdata fra Cermaq ble dermed snevret inn til å kun inkludere generasjoner av fisk hvor det ble talt lus innenfor 2018, generasjonene 2016 til 2018 ved en rekke lokaliteter. All behandling av dette datamaterialet ble gjort i «Microsoft Excel for Microsoft 365 MSO (16.0.13127.21336) 64-bit».

Vasking av datamaterialet på merdnivå gav store utfordringer på grunn av intern flytting av fisk mellom merder, samt flytting av fisk mellom lokaliteter. I den sammenheng menes det her at en «gruppe med fisk» eller en «gruppe» er den fisken som i utgangspunktet ble satt ut i en gitt merd. Alle registreringene fra utsett av en gruppe gjøres i merdnummeret denne fisken ble slaktet fra, til tross for at de kan ha vært flyttet mellom merder og lokaliteter. Både flyttinger mellom lokaliteter og internt var oversiktlig presentert i Fishtalk og fiskegrupper ble ved hjelp av dette sporet tilbake i tid. Dette medførte dog mye databehandling, for eksempel skjer det relativt ofte at en gruppe som i utgangspunktet er satt ut i samme merd blir fordelt over to merder på et senere tidspunkt. Dette innebar å summere antallet fisk fra to merder til en merd, og slette det som følgelig var duplikat-registreringer i perioden før flyttingen. Det hender også at merder blir flyttet mellom anlegg under sjøfasen, i noen tilfeller blir en gruppe fisk også fordelt på to merder ved ankomst. Som følge av at registreringer skjer i merder fisken ble slaktet fra måtte det gjentatte ganger manuelt føres inn en ny merd i en lokalitets produksjonssyklus, og antallet fisk i denne merder måtte summeres fra to merder ved en annen lokalitet – for hver uke. For reproduksjonsformål er alle disse handlingene listet i appendiks 1 «*Rensing av produksjons og modelldata*».

Der er helt sentralt for denne studien og vite nøyaktig hvilken merd og lokalitet fiskegruppen med tilhørende registrert lusetelling befinner seg i ved tellingstidspunktet. Dette er for å vite hvilke lusetiltak som gjøres ved lokaliteten, samt hvilke strøm- og værforhold en gruppe fisk opplever fra uke til uke. I mange tilfeller er det «to rekker» med merder ved en lokalitet, avhengig av strøm- og værforhold kan en rekke, som antatt i denne studien, være skjermet av den andre. Dermed er det viktig å vite nøyaktig hvilken merd fisken er i ved tidspunktet for alle lusetellinger gjennom året. Et begrep som brukes senere i denne sammenhengen er «bur», dette er et rektangulært område innad i lokaliteten gitt av fortøyningsoppsett, antallet bur gir antallet merder en lokalitet kan fortøye.

2.2.2 Intervju av driftsledere (Cermaq)

For de 21 lokalitetene som hadde fisk i merdene i 2018 ble det gjennomført semi-strukturerte intervju med driftslederen for anlegget, som i noen tilfeller hadde ansvaret for flere av anleggene. Intervjuene startet med informasjon om luseskjørt, hvorvidt det hadde vært brukt og eventuelt hvilken type. Produsent av skjortene var ikke mulig å finne på en per merd basis og det er dermed ikke tatt høyde i forskjeller på luseskjørt, kun tilstedeværelsen av et. Som nevnt tidligere var alle 6 meters tette presenning skjørt.

Intervjuene avklarte om lokaliteten brukte is-skjørt i vintersesongen, som er en presenning som festes på den øverste delen av noten, mellom gangveien og håndlisten på merden, for å hindre ising på nøtene. Videre om eventuell bruk av lys i merdene enten for kjønnsmodning, appetitt eller lusetiltak, samt hvilken type og periode disse ble brukt. Merdoppsettet, som varierer mellom lokaliteter, ble kartlagt for å finne ut hvilken merd (nummerert) som er plassert i hvilket bur. Strøm og værforhold ble etterspurt, hvorvidt lokaliteten etter driftsleders oppfatning var utsatt for enten kraftig havstrøm eller dårlig vær, samt hvilke vindretninger lokaliteten er utsatt for. Det var også noen spørsmål angående miljøstasjoner som senere ble besluttet å ikke være relevante for studien.

Ved intervju var det tilnærmet umulig å få sikre datoer på start og stopp av lysbruk i merdene ved lokalitetene som benytter undervannslys samt typen/modellen på disse. Derfor ble Cermaqs interne rutiner for lysregime brukt til datobestemmelse for utsett og opptak av lysene. Bruken av undervannslys viste seg med dette å falle utenfor de undersøkte tidsperiodene for hver merd og ble utelatt. For is-skjørt var utfordringen den samme, men det generelle inntrykket var at disse aldri ble satt ut tidlig nok til å være relevant for det som til slutt ble studieperioden og disse ble dermed ikke inkludert. Opprinnelig var det ønskelig å

undersøke en mulig skjermingseffekt mot sjøsprøyt av is-skjørtene, men dette var uavhengig av studieperiode ikke mulig grunnet et lite utvalg i 2018.

2.2.3 Annet

Koordinater til lokalitetene, samt lusegrense per uke, ble hentet fra Barentswatch (*Barentswatch, ukjent, a*). Koordinatene angir cirka midtpunkt for det totale overflatearealet til lokaliteten (*Barentswatch, ukjent, b*). Barentswatch er underlagt Samferdselsdepartementet og drives av Kystverket i samarbeid med flere departementer, forvaltningsetater og forskningsinstitusjoner for å «samle, utvikle og dele informasjon om norske kyst- og havområder» (*Barentswatch, 2018*). Eksternt smittepress ble hentet fra Veterinærinstituttets lusekart. Dette er en avstandsmodell for beregning av smittepress ved en gitt lokalitet. Totalt eksternt smittepress ved en lokalitet er den akkumulerte verdien av eksternt smittepress fra omkringliggende lokaliteter, avhengig av avstand til disse (*Veterinærinstituttet, ukjent*).

Ved bruk av Emamektin som lusebehandling ble langtidseffekten satt til 60 dager som oppgitt i Felleskatalogen. Dersom lusetelling i siste uke med effekt falt innenfor 60 dager etter behandlingens slutt ble effekten tatt med i uken. Dersom lusetellingen ble gjort på dag 61 eller senere etter behandlingens slutt ble effekten ikke tatt med i uken. Ved bruk av Emamektin skjer behandlingen over 7 dager og behandlingseffekten regnes fra siste dag.

Vind skulle opprinnelig hentes fra FVCOM-modellen på samme måte som undernevnte havstrøm. På grunn av en misforståelse ble denne ikke levert med de øvrige variablene (strøm, temperatur og salinitet) men kom på et senere tidspunkt. Tiden strakk ikke til for å bruke de stedsspesifikke modellerte vindverdiene og vind ble derfor hentet fra omkringliggende målestasjoner. Dette ble gjort gjennom Norsk Klimaservicesenter (KSS) som samler og offentliggjør klima- og hydrologiske data fra en rekke målestasjoner. Dette gjøres som et samarbeid mellom en rekke aktører, blant disse Meteorologisk institutt og Norges vassdrags- og energidirektorat (*KSS, ukjent*). Tabell 5 viser geografisk gruppering av lokaliteter innenfor et område og hvilken målestasjon som brukes for hvilke grupper.

Parameterne som ble brukt var «middelvind» og «vindretning» per time i studieperioden, disse er middelveidene av hastighet og retning de siste ti minuttene før en registrering gjøres. Retning er gitt som retningen vinden kommer fra, altså vil 0° si at luftmassene beveger seg i retning nord→sør (meteorologisk konvensjon).

Tabell 5: Geografisk gruppering av lokaliteter og tilhørende målestasjon for vindvariabelen. Detaljer om målestasjonene kan sees på klimaservicesenter.no.

| Område | Lokaliteter | Målestasjon | Målestasjon ID |
|-----------------|------------------------------------|---------------------|----------------|
| Kvalsund | Enkeneset | Hammerfest lufthavn | SN94280 |
| Sørøya | Slettnesfjord | | |
| Vargsundet nord | Komagnes | | |
| Vargsundet Sør | Nordnes, Olderfjord, Storholmen | Rognsundet | SN94230 |
| Langfjord | Sommarbukta, Tuvan | Alta lufthavn | SN93140 |

2.2.4 FVCOM-modellen (NIVA)

Temperatur, salinitet og havstrøm ble hentet fra NIVAs' FVCOM-modell. Modellen ble opprinnelig utviklet som et samarbeidsprosjekt mellom The University of Massachusetts Dartmouth (UMASSD) og Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) (*MEDML, 2013*). NIVA har tilpasset modellen for Norges kystlinje og den kan gi et svært høyoppløst resultat sammenliknet med andre havstrømsmodeller. Dette gjøres ved å bruke et ustrukturert grid bestående av triangler som kan tilpasse oppløsning til trange fjorder og sund. Disse trianglene utgjør «målepunktet» for vertikalt distribuerte posisjoner i vannsøylen. Til tross for at disse punktene strengt tatt ikke er målepunkter, men interpolerte/forutsette verdier basert på faktiske observasjoner og modellparameter, vil punkter med en tilhørende verdi for en variabel her omtales som målepunkter.

Modellen tar hensyn til en rekke faktorer som vind, nedbør, elveutløp, snøsmelting, havfordamping og batymetri for å forutse bla. temperatur, salinitet og havstrøm ved ulike dyp. Ytterligere informasjon om modellen kan sees ved *Akvaplan NIVA, (ukjent); NIVA, (2015)* og *MEDML, (2013)*. Modellen er blitt utprøvd og validert i en rekke studier og er bevist å være et pålitelig verktøy for å simulere blant annet havsirkulasjonsdynamikk (*Novo, P. G. og Kyojuka, Y., 2020; Waldman, S. mfl., 2017; Ge, J. mfl., 2012*). Også temperatur- og salinitetsverdier er undersøkt og validerte, med tilsynelatende litt større variasjon mellom observerte og modellerte verdier (*Ge, J. mfl., 2012; Zhang, A. og Wei, E., 2007*). Det må

påpekes at presisjonen er avhengig av modellparameter og konfigurering som må defineres på en per modell basis avhengig av bruksområde. Det sier imidlertid noe om presisjonen til modellen på generelt grunnlag, dette diskuteres ytterligere i kapittel 4.3.5.

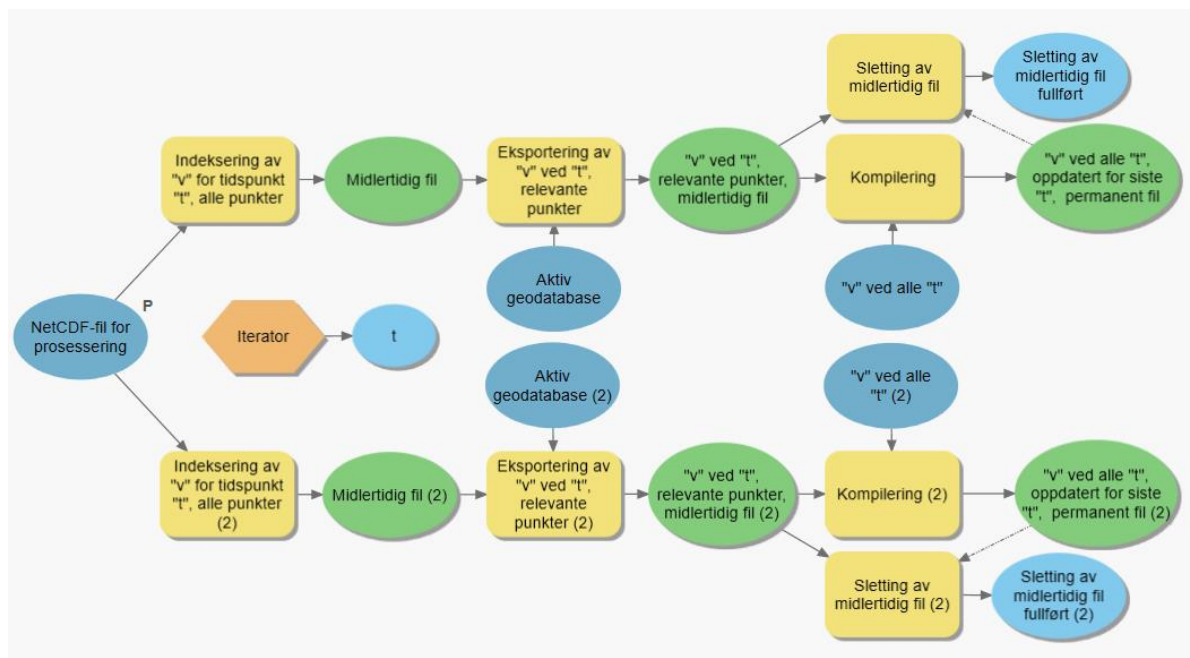
Utdataen fra modellen kommer i NetCDF-format som er et lagringseffektivt multidimensjonalt format som muliggjør flere «dimensjoner» i datasettet, litt som et Excel-ark i n -dimensjoner. Dette vil si at dataen, per målepunkt, ikke bare følger en tidslinje men også en vertikal distribusjon. Til denne studien ble rådata fra modellen delvis prosessert av NIVA til kun å inneholde variablene og tidsperioden som var etterspurt, i tillegg ble de på forhånd vertikalt inndelt til standardiserte dybdenivå hvorpå kun 0- og 5-meters dyp ble brukt i denne studien. For hvert målepunkt og ved hvert dyp var det verdier per time fra 1. juni til 29. august 2018. I samråd med NIVA ble det besluttet å ikke bruke vertikal strøm som en variabel i denne studien på grunn av høy grad av usikkerhet i verdiene.

2.2.5 Prosessering av NetCDF data

For salinitet og temperatur var det en tilhørende NetCDF-fil som måtte behandles og prosesseres individuelt. For strøm var det to tilhørende filer per variabel siden disse er gitt som vektorer (u og v-verdier). Hvis ikke annet er spesifisert er metoden som beskrives her brukt for alle filer, prosessering ble gjort i ArcGIS Pro ver. 2.6.0 (Esri inc.). Hver variabel var modellert for 503.646 (salinitet og temperatur) eller 973.329 (strøm) individuelle punkter med tilhørende vertikal distribusjon fra overflaten til havbunnen for hele kysten av Finnmark, inkludert Kvænavingen i nord-Troms.

Opprinnelig var planen å «klippe ut» et område rundt hver lokalitet for å se forholdene ved lokaliteten og i umiddelbar nærhet. Dette var dessverre ikke mulig på grunn av mengden data som i tilfelle måtte prosesseres og tidsrammen for studien. Det ble derfor av praktiske årsaker besluttet å bruke ett enkelt referansepunkt for hver lokalitet. Referansepunktet ble satt til målepunktet som var nærmest koordinatene til hver lokalitet. Hvert målepunkt har en unik identifikator kalt «space», denne identifikatoren ble knyttet til lokaliteten på samme måte som en lokalitets unike ID for senere å kunne knytte disse punktene til tilhørende lokalitet. «space» refererte til samme punkt, gitt ved koordinater, for salinitet og temperatur, og for u- og v-vektorene for strøm. Som følge kunne koordinatene fra dette punktet utelukkes og «space» alene brukes som henvisning til de relevante punktene.

Prosesen for å hente relevante punkter ut fra NetCDF-filene som inneholdt hundre-tusenvise av punkter ble automatisert for hver enkelt av de fire filene. Dette ble gjort med ArcGIS Pro's modellbygger som muliggjør automatisering av en rekke konsekutive separate prosesser. Modellen er vist i figur 4, hvor den øverste raden behandler overflate og den nederste raden behandler -5m (2). Modellen indekserer først verdier av variabelen «v» ved tidspunkt «t» for alle punkter («space») i filen før relevante punkter gitt ved verdier av «space» eksporteres og kompiles i en kronologisk samletabell (verdier av «v» ved tidspunkt «t»). Iteratoren repeterer modellen for alle, eller spesifiserte intervaller, av «t». Midlertidige filer blir etter endt iterasjon slettet for å frigjøre diskplass på maskinen. Variabelen «v» er gitt av hvilken NetCDF-fil som prosesseres. Iteratoren ble her brukt til å hente ut verdier for «v» ved hver andre «t», altså hver andre time på grunn av tidshensyn.



Figur 4: ArcGIS Pro "model builder", brukt til å automatisere prosessen med indeksering og eksportering av data fra NetCDF filer. Tidspunkt er gitt ved «t» og verdier av en gitt variabel ved «v». Iteratoren repeterer modellen for alle, eller gitte intervaller, av «t». Den permanente filen helt til høyre kompilerer alle relevante verdier av variabelen «v», gitt av posisjonen til målepunktet, kronologisk etter tidspunkt «t» for hver iterasjon av modellen. Den øverste raden behandler overflateverdier og den nederste raden (2) ved 5 meters dyp. «Sletting av midlertidig fil» gjøres etter hver fullførte iterasjon for å frigjøre diskplass på maskinen.

Når variablene for de relevante punktene var kompilert for alle ønskede tidspunkt ble strømvektorene «u» og «v», temperatur og salinitet slått sammen basert på identifikatoren «space» og variabelen «tid». Dybdenivåene ble behandlet hver for seg. FVCOM-modellen bruker en modellsesifikk tidsvariabel angitt som «dager siden 18 november 1858 kl. 00:00:00», f. eks 58338,625. Denne ble konvertert til kalenderformat, inklusive klokkeslett.

Alle datasett ble så rensert før videre arbeid ble fortsatt. Laveste temperaturverdi utenom 0-verdier var 4,766155 for overflate (0D) og 1,023838 for -5 meter (1D). Disse ble vurdert å være såpass langt fra 0°C at det var lite sannsynlig at disse verdiene var korrekte. I tillegg var samtlige 0-verdier nøyaktig 0, og ikke 0,xxxx eller -0,xxxx. For salinitet var laveste verdier (utenom 0-verdier) 20,13545 for overflate og 6,944153 for -5 meter. Samme argumentasjonen ligger til grunn for fjerning av disse verdiene også. Alle 0-verdier var nøyaktig 0. For u og v vektorer var det adskillig mye vanskeligere å identifisere anormale 0-verdier. Dette ettersom disse verdiene var i spekteret -0,5 til 0,5 og verdier rundt 0 var vanlige. Verdiene var imidlertid presise til 6 desimalplasser noe som gav høy presisjon. Under vurdering av dataen ble det vurdert at en del 0-verdier antakeligvis var legitime av den grunn at det ved et gitt tidspunkt, basert på målinger umiddelbart før og etter dette, kunne forventes verdier svært nærme 0. I andre tilfeller derimot var disse utliggerne fra hva som kunne forventes. Siden 0 verdiene samlet utgjorde en veldig liten andel av det totale datasettet ble det derfor besluttet å fjerne alle.

Å finkjemme og manuelt fjerne anormale verdier var utelukket på grunn av mengden data (over 85.000 rader). Siden u og v ikke kan operere uten hverandre innebærer en 0-verdi for u at også v må fjernes og vice versa. Dette utgjorde for strøm ved overflate 567 rader og ved -5 meter 828 rader. Ytterligere detaljer om fjerning av nullverdier og hvor mange verdier dette i noen tilfeller utgjorde per dag kan sees i appendiks 1 «*Rensing av produksjons og modelldata*».

Strømvektorene u og v ble regnet om til hastighet og retning med uttrykkene gitt nedenfor. Formel 5 gir strømstyrke i centimeter per sekund (cm/s) og formel 6 gir strømrretning i grader (°). Retning ble konvertert til kompassretninger hvor 0° (eller 360°) representerer nord. Retningen representerer flyten av masse, dersom retning er oppgitt som for eksempel 0° betyr det at massen (vannet) beveger seg i retning sør→nord (oseanografisk konvensjon).

$$\text{Formel 5: Hastighet (cm/s)} = \text{sqrt}(u^2 + v^2)$$

$$\text{Formel 6: Retning (°)} = \left(\left(\frac{180}{3,14} \right) * \text{Atan2}(u, v) \right) + 180$$

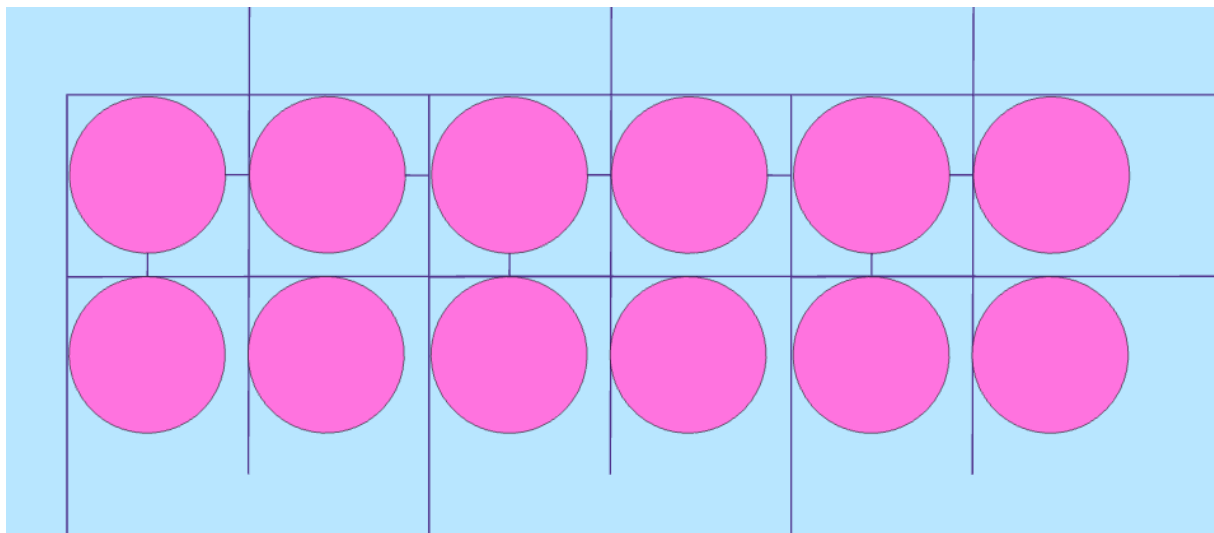
Temperatur, salinitet og strøm var alle gitt ved samme tidspunkt, disse ble for hvert dyp slått sammen til en tabell som inneholdt alle registreringer av variablene. På grunn av sletting av 0-verdier var det ved noen tidspunkt kun registrert noen av variablene. Siden disse målingene

var annenhver time og ikke alltid gjort ved en «full» time (altså noen ganger kl. 13:58:07 en dag) ble disse omgjort til hele timer for å matche vinddata. For alle praktiske formål er målingene gjort på samme tidspunkt selv om de i realiteten kan avvike med 2-3 minutter. Resultatet var en felles «tid» variabel i formatet «mDDhh» hvor m=måned, DD=dato og hh=klokkeslett representert ved fulle timer.

2.3 Analytisk metodikk

2.3.1 Per merd eksponering

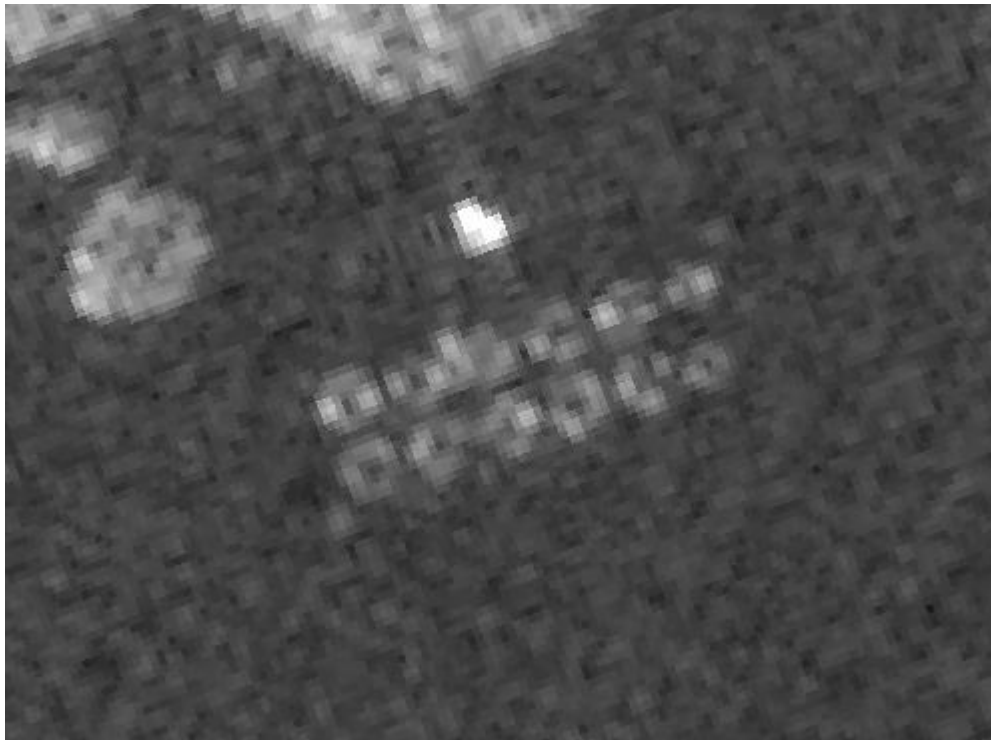
For å finne hvorvidt en merd er eskponert for en strømreretning ble merder manuelt digitalisert i ArcGIS Pro. Dette ble gjort med informasjon om antall merder per lokalitet samt et kartlag som angir flate i henhold til akvakulturregisteret som referanse for størrelsesbestemmelse (*Fiskeridirektoratet, 2018*). Følgelig er merdene ikke nøyaktig skalerte. For å sikre uniform fordeling med tanke på avstand mellom merder ble fire referansemerder tegnet inn med relativ høy grad av nøyaktighet. Disse ble så kopiert i et egnet rutenett for å dupliseres, dette gav en mal for merdoppsett hvor ønsket antall merder kunne kopieres for å plasseres innenfor en lokalitets flate. Malen er vist i figur 5. Når alle lokaliteter hadde inntegnede merdoppsett innenfor overflatearealet ble disse nummerert etter hver enkelt lokalitets oppsett.



Figur 5: Illustrasjonsfoto av referanse-merdoppsett brukt for å plassere merder innenfor en lokalitets overflateareal.

For å vite hvilke bur som faktisk inneholdt merder i perioder ble det brukt satellittbilder fra NASA satellittene Sentinel 1A og 1B. Disse ble lastet ned fra NASAs' «*Earth Data Search*»-tjeneste (*NASA, ukjent, a*). Satellittene ble valgt med bakgrunn i hva som var tilgjengelig i studieperioden og deres høye oppløsning på radarbilder. Et eksempel på et slikt bilde er gitt i

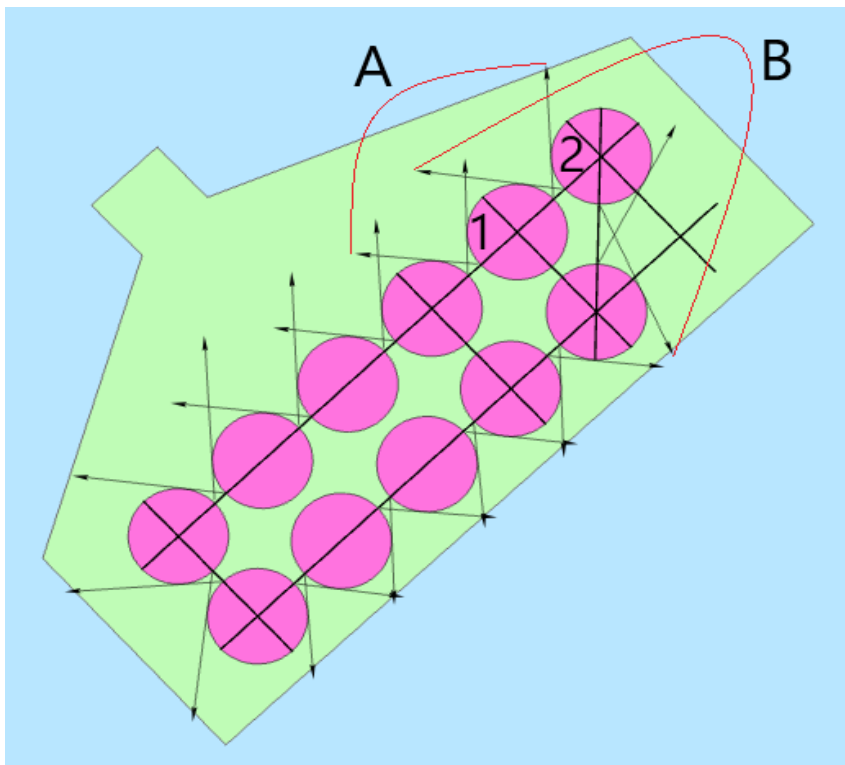
figur 6 som viser lokaliteten Storholmen, dette bildet er vurdert til å vise 12 merder, en merd per bur ved lokaliteten. Hvilke spesifikke filer/bilder som er brukt for vurdering av hver lokalitet samt hvilke tidspunkt bildene er tatt på kan sees i appendiks 2 «Satellittbilder brukt for lokalitetsvurdering». Hvilke merder som er antatt å være til stede/mangle ved hver lokalitet er også ført her. Hvilke merder som ble vurdert å ikke være til stede ved en lokalitet ble fortløpende sjekket opp mot produksjonsdata i Fishtalk hvorav noe av dette er inkludert i appendiksen.



Figur 6: Satellittbilde (Sentinel 1B) av lokaliteten Storholmen den 10.06.18 (NASA, ukjent, b). Dette bildet ble vurdert å inneholde 12 merder, en merd per bur ved lokaliteten. Det mørke området er hav, den lyseste flekken er flåten ved lokaliteten, og nedenfor denne er konturene av de 12 merdene.

Når alle undersøkte lokaliteter hadde et antatt korrekt merdoppsett for de undersøkte periodene ble disse brukt til å bestemme kompasskurser for eksponering. Dette ble gjort ved å tegne støttelinjer gjennom omtrentlig midtpunkt av hver merd som en kontinuerlig linje gjennom alle merdene. Fra skjæringspunktene ble det tegnet to piler ut fra lokaliteten per merd, disse ble orientert etter nabomerder. Kompasskursene til pilene ble så funnet ved verktøyet «*Linear Directional Mean*» som returnerer kompassretning til hver pil. Dette gir et spenn av kompasskurser merden er eksponert for. Dette er illustrert i figur 7 som viser overflatearealet av lokaliteten Olderfjord, de inntegnede merdene samt støttelinjer, og pilene som peker i retning fra lokaliteten. Kurve A viser retningsspennet merd 1 er eksponert for, og

kurve B viser retningsspennet merd 2 er eksponert for. Hver pil er knyttet til tilhørende merd ved navn, eksempelvis ved pilnavn 11A1/A2 og 11B1/B2 hvor «11» identifiserer lokaliteten.



Figur 7: Illustrasjonsfoto for bestemmelse av retninger en merd er eksponert for (lokalitet: Olderfjord). Polygonet er overflatearealet til lokaliteten (hentet fra Barentswatch.no), sirklene er merder med tilhørende støttelinjer for inntegning av piler. Kurve A viser retningene merd 1 er eksponert for, og kurve B viser retningene merd 2 er eksponert for.

Kompasskursene sier hvilken retning strømmen må komme fra for at merden er eksponert, følgelig ble strømreringene omgjort til meteorologisk konvensjon med formel 7. For å ikke få verdier over 360 ble Excel-funksjonen «MOD» brukt til å definere mulige returnerte verdier.

$$\text{Formel 7: Strømrering (meteorologisk konvensjon)} = S_t + 180$$

Hvor S_t angir strømrering ved et gitt tidspunkt (t).

Denne tilnærmingen er ikke brukt for å angi eksponering for vind siden det tas utgangspunkt i verste vindretninger per lokalitet som oppgitt i intervjuer. Retningsbestemt eksponering for vind ble bestemt ved visuelle vurderinger av lokalitetene for de ulike verste vindretningene oppgitt i intervjuene. Dette er blant annet på grunn av usikkerhet rundt lokale vindforhold og usikkerhet knyttet til vind som proxy-variabel, dette diskuteres senere i kapittel 4.3.1.

2.3.2 Miljøforhold ved infeksjonstidspunkt

2.3.2.1 Infeksjonsvindu

For å finne et infeksjonsvindu, tidsperioden hvor det er sannsynlig at lusene har infisert laksen, var det nødvendig å regne seg tilbake i tid fra en bestemt lusetelling. Dette er definert som et vindu på grunn av usikkerhet rundt lusens progresjon gjennom livsstadier ved tellingstidspunktet. Først når det ble registrert lakselus i bevegelige stadier ble en lusetelling regnet som troverdig (kap. 1.3.1). Metoden for tilbakeregning er basert på vekstmodellen av *Hamre, L. A. mfl. (2019)* presentert i kapittel 1.3.2. Temperatur (T) er her gitt ved 5 meters dyp og hentet fra FVCOM-modellen.

Kriteriene for å sette en lusetelling som utgangspunkt for tilbakeregning er slik:

Utgangspunktet er den første lusetellingen, etter minimum 2 uker med 0-registreringer av både bevegelige og voksne lus, hvor det registreres lus i bevegelige stadium med minst en påfølgende uke hvor det også forekommer bevegelige lus. Det gjøres to unntak fra dette:

1. Unntak fra krav om påfølgende uke. Tilfeller hvor det en uke blir registrert bevegelige lus, påfølgende uke ikke blir registrert bevegelige lus og hvor det i den tredje uken telles et tilsvarende eller høyere antall lus i sum av bevegelige pluss voksne lus enn den første uken.
2. I tilfeller hvor det registreres voksne hunnlus samtidig som første tilfelle av bevegelige lus (etter kriteriene gitt ovenfor), settes utgangspunktet for tilbakeberegning uken før lusetellingen med de faktiske registreringene. Dette unntaket forutsetter at lusetellingen med registreringene ikke er fulgt av en 0-uke. I disse tilfellene må det også være 3 uker med 0-registreringer av bevegelige og voksne lus i forkant.

Det første unntaket gjøres for å ta høyde for at lusetellingen uten registreringer ikke nødvendigvis er representativ for merden ved tellingstidspunktet ettersom det i påfølgende uker er antydninger til et større utbrudd. Det andre unntaket gjøres for å ta høyde for at det mest sannsynlig var lus i bevegelig stadium i 0-uken ettersom utviklingstiden før hunnlus når voksenstadiet er relativt lang. Antakeligvis har disse simpelthen ikke blitt fanget opp. Forutsetningen for unntaket gjør at det er mindre sannsynlig at både de bevegelige og voksne hunnlusene i lusetellingen ikke er sporadiske observasjoner som kunne kommet når som helst, men er knyttet til noe som kan anses å være et signifikant påslag. Grunnen til at det må være 3

uker med 0-registreringer i forkant av er for å minimere sjansen for at de voksne hunnlusene er sene utviklere eller eldre lus fra et mye tidligere tidspunkt.

Slike utgangspunkt kunne finnes ved 31 lusetellinger i 31 merder fordelt på 10 lokaliteter. Dette ble begrenset av blant annet kontinuerlige observasjoner av lus og at deler av- eller hele infeksjonsvinduet falt utenfor (i tiden før) studieperioden. Av disse ble en merd utelatt på grunn av en feil i databehandlingen. Ytterligere 6 merder ved en lokalitet måtte utelates på grunn av at tidspunktet for utsett av fisken falt innenfor infeksjonsvinduet, følgelig var det ikke noe tidsrom før infeksjonsvinduet egnet som sammenlikningsgrunnlag (se kap. 2.3.2.3). Endelig utvalg ble 24 merder ved 8 lokaliteter. Hvilke lokaliteter og merder som undersøkes kan sees i appendiks 3 «*Miljøforhold ved infeksjonstidspunkt*» - *undersøkte lokaliteter, merder og infeksjonsvindu*».

Som vist i tabell 3 (kap. 1.3.2) er de tidligst utviklede hannlusene PA1 ved og $RA_{FRAC}=0,55$. Ved å regne ut rRA_{FRAC} (formler 2 og 4) for hver dag basert på gjennomsnittstemperaturen (T) ved lokaliteten finner man hvor mye lusen i disse temperaturene vokser hver dag. Slutten på infeksjonsvinduet finnes dermed ved formel 8.

$$\text{Formel 8: } RA_{FRAC}^t(0,55) - rRA_{FRAC}^{t-1} \text{ til } RA_{FRAC} = 0$$

Hvor, t = dato for lusetelling.

Her antas det at lusen nettopp har nådd PA1 stadiet ved det aktuelle tellingstidspunktet. Starten på infeksjonsvinduet finnes ved å anta at lusetellingene er representative (ingen observasjon = ingen lus) og at lusen kan ha utviklet seg til bevegelig stadium like etter forrige fullførte lusetelling (t_2). Dermed tas det utgangspunkt i at RA_{FRAC} ved $t_2 = 0,55$ og vekstpotensialet i perioden finnes ved formel 9.

$$\text{Formel 9: } RA_{FRAC}^{t_2}(0,55) + rRA_{FRAC} \sum_t^{t_2} = RA_{FRAC}^t$$

Denne nye verdien for RA_{FRAC} brukes så for 0,55 i formel 8 for å finne starten på infeksjonsvinduet. Siden rRA_{FRAC} er hvor mye lusen har vokst i løpet av en hel dag deles den på to hver gang det gjøres utregninger for samme dag som en lusetelling har funnet sted med bakgrunn i at lusetellinger gjøres i arbeidstiden, altså dagtid. Siden de første hannlusene er forventet å observeres før hunnlusene opereres det kun med tall for hannlus.

2.3.2.2 «Hendelser»

Strømhendelser skjer på en per merd basis som en funksjon av styrke over terskelverdi og retning (kap. 2.3.1). Terskelverdien for styrke ble satt til 10 centimeter per sekund (cm/s) eller mer ved 5 meters dyp. Dette er basert på funnene av *Lien, A. M. og Volent, Z. (2012)*. I deres skalerte tankforsøk er konfigurasjon F lagt til grunn for sammenlikningen. Modellen brukt i forsøket var en merd med bunnring hvor et skalert luseskjørt tilsvarte en dybde på 6,2 meter. Ved 10 cm/s var den effektive dybden på skjørtet redusert fra 363mm til om lag 210mm, en reduksjon på rundt 42% (*Lien, A. M. og Volent, Z., 2012, figur 4.1.2*). Merk at det i denne studien ikke er kjent hvorvidt enkeltmerder er utstyrt med bunnring. Av tidligere forskning presentert i kapittel 1.4.2.2 skulle fraværet tilsi en ytterligere reduksjon i effektiv dybde ved 10 cm/s.

Vind brukes som en variabel for å si noe om sjøforholdene. Beauforts skala er brukt til å bestemme terskelverdi som beskriver en «vindhendelse». En «vindhendelse» er brukt for å identifisere forhold som kan føre til lusepåslag ved sjøsprøyt over luseskjørtet. Terskelverdien er gitt ved beaufort 5, eller 8 meter per sekund (m/s) vindstyrke (*Seter, K., 2020*).

Beskrivelsen for beaufort 5 er som følger: «*Middelstore bølger som har en mer utpreget langstrakt form og med mange skumskavler. Sjøsprøyt fra toppene kan forekomme.*» (*Seter, K., 2020*). Antakelsen er at bølger med skumskavler vil bryte/slå inn i merdkanten og føre til sjøsprøyt, og dermed være en mulig vei inn i merden for lusen gitt at den befinner seg i det øverste vannlaget.

I tillegg til å teste disse hendelsene ble det også laget en funksjon av hendelsene som var avhengig av salinitet. Disse ble gitt som strømhendelser hvor overflatesalinitet var under 28‰ og vindhendelser hvor overflatesalinitet var over 28‰. Dette er basert på salinitetspreferanser hos kopepodittene. Terskelverdien er bestemt med utgangspunkt i *Bui, S. mfl. (2019)* som nevnt i kapittel 1.3.1.1. For vind ble ikke dette relevant ettersom ingen vindhendelser fant sted i perioder med overflatesalinitet under 28‰. Salinitet ved overflaten, som var under terskelverdien, ble også undersøkt som egne «salinitetshendelser» uten å tilknyttes strøm eller vind.

2.3.2.3 Analyser

Denne testen undersøker om det er noen miljøforhold/hendelser innenfor infeksjonsvindue som kan forklare inntrengningen – ved å sammenlikne mot en periode hvor det er antatt å ikke skje inntrengning. I tillegg, et eget datasett som inkluderer eksternt smittepress hvor utvalget er mindre siden dette kun var tilgjengelig for 12 merder ved 5 lokaliteter. For å ha et sammenlikningsgrunnlag for miljøforholdene innenfor infeksjonsvinduet ble det gått tilsvarende antall dager tilbake i tid. Variablene som undersøkes her er de definerte hendelsene som nevnt ovenfor, i tillegg miljøparameterne: minimumsverdier av salinitet ved overflate, maksverdier av strømstyrke ved 5 meters dyp og maksverdier av middelvind. Miljøparameter og hendelser undersøkes hver for seg.

Den avhengige variabelen er gitt ved infeksjonsvindu=0/1 (utenfor eller innenfor infeksjonsvindu). Nullhypotesen er at miljøforholdene ved lokaliteten/merdene ikke bestemmer luseinntrengning mens alternativhypotesen er at gitte miljøforhold/kombinasjoner av miljøforhold medfører en større risiko for luseinntrengning og infeksjon. Miljøparameter er gitt ved minimum og maksimum verdier innenfor 0 og 1- periodene. Tanken er å identifisere hvorvidt det er ekstremverdier av miljøparameterne som kun finner sted innenfor infeksjonsvinduet. Hendelser er gitt ved antall hendelser i periodene. Statistiske analyser er gjort i R, versjon 4.0.4.

Korrelasjonene mellom de undersøkte variablene og den avhengige variabelen ble først undersøkt for å etablere forhold mellom disse. Videre ble signifikans av variablene undersøkt med binominal generalisert lineær modell test (GLM) og binominal generalisert additivmodell (GAM, REML, R-pakke «mgcv»). GAM ble kun brukt for miljøvariabler uten smittepress. GLM-testen ble kjørt på følgende kombinasjoner av variabler (*=kun for datasettet med smittepress):

GLM1/GAM: Minimum salinitet (overflate) + Maksimum strømhastighet (-5m) + Maksimum middelvind (*+ Eksternt smittepress)

GLM 2: Vindhendelser + Strømhendelser + Salinitetshendelser (*+ Eksternt smittepress)

GLM 3: Vindhendelser + Strømhendelser (som funksjon av salinitet) (*+ Eksternt smittepress)

Analysen på miljøforhold ved infeksjonstidspunkt skiller ikke mellom lokaliteter eller merder på noen annen måte enn ved miljøforholdene ved merden. Følgelig antas det, foruten variablene brukt i denne testen, like forutsetninger for luseinntrengning ved alle merder og lokaliteter.

2.3.3 Sammenlikning av merder basert på eksponering

For å teste hvorvidt grad av eksponering kan forklare lusepåslag i enkeltmerder ble hver merd kategorisert ut fra eksponering for strøm og vind. For et mindre utvalg lokaliteter ble utviklingen av antall lus per merd sjekket basert på eksponeringen til hver merd. Denne metoden tar ikke hensyn til hendelser innenfor perioden, for strøm er dette mindre relevant ettersom hver av lokalitetene undersøkt her har uniforme horisontale strømmønstre. For vind er disse kun vurdert etter eksponering basert på verste vindretninger oppgitt i intervju og ikke hvorvidt det har forekommet vind fra denne retningen. Følgelig er merder inndelt i fire kategorier: skjermet (1), eksponert for vind (2), eksponert for strøm (3) og eksponert for begge (4).

For å finne det horisontale strømmønsteret for hver lokalitet ble det laget «strømroser» i R basert på strømstyrke og retning. Dette ble gjort ved hjelp av R-pakken «Openair» (ver. 2.8-3), den er imidlertid basert på en meteorologisk konvensjon hvor retning er gitt på samme måte som vind (kap. 2.2.3). Følgelig ble de konverterte meteorologiske retningene for strøm brukt til å lage strømrosene. Med dette blir det enklere å lese av dataen fra strømrosene og spesielt retning på strømmen, som ellers ville være invertert. Eksponeringen til merdene ble visuelt vurdert på samme måte som for vind i kapittel 2.3.1 for begge variabler. Eksponering for strøm ble bestemt ut fra hovedstrømretninger gitt av strømrosene, disse ble sett opp mot lokalitetsoppsett og hvilke merder som vil være eksponerte ved hovedretningene.

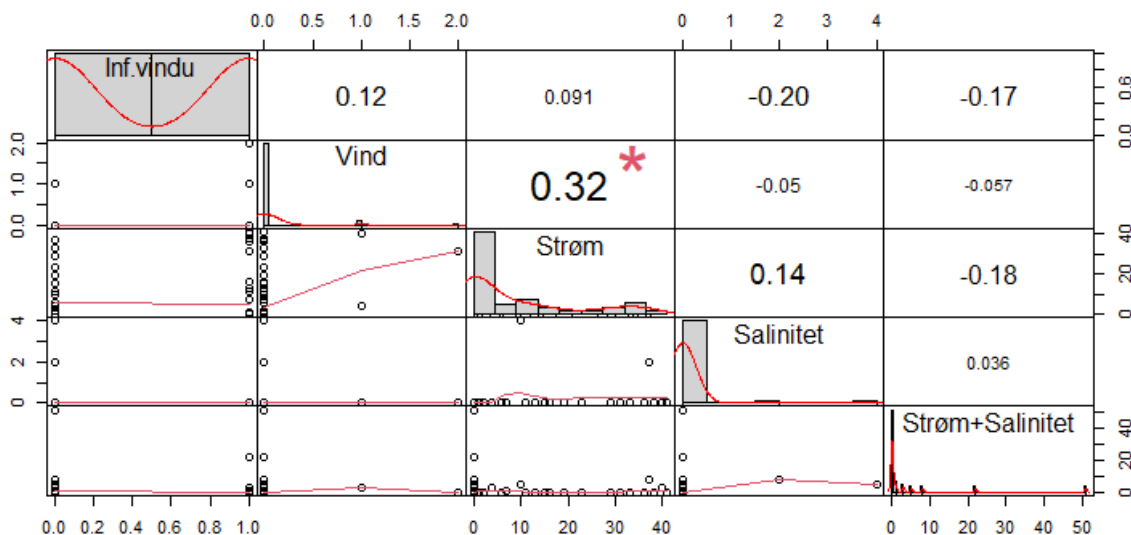
Undersøkt periode for hver lokalitet er bestemt ut ifra når det gjøres endringer i merdoppsett i forbindelse med utslakting eller utsett, og avlusninger. Dette gjøres for å sikre like forutsetninger for alle merdene i den undersøkte perioden og sjekke potensiell skjermingseffekt av andre merder. I noen tilfeller er det ulike smolt-typer ved samme lokalitet, som nevnt i kapittel 1.4.2.1 kan dette påvirke lusens festesuksess, og muligens effekt av lusebehandling. Strømrosene, undersøkte lokaliteter og tidsperiodene presenteres i kapittel 3.2. Antall lus per merd er oppgitt som akkumulasjonen av bevegelige + voksne hunnlus i perioden. Dette brukes som et uttrykk på total luseinntrengning. Avslutningsvis testes forskjellene mellom kategoriene for signifikans med chi-kvadrat-test i R.

3 Resultat

3.1 Miljøforhold ved infeksjonstidspunkt

Korrelasjonskoeffisientene (r) til de undersøkte variablene ble sjekket for datasettet uten smittepress, med størst utvalg. Flere av korrelasjonene var uventet, for miljøparameterne var disse en positiv korrelasjon med overflatesalinitet og negative korrelasjoner med maks strømhastighet (-5m) og maks middelvind. Maks middelvind tar imidlertid ikke hensyn til retning, vindhendelsene som funksjon av styrke og retning var positivt korrelert med infeksjonsvinduet ($r=0,124$). For de definerte hendelsene var salinitetshendelser og strømhendelser som funksjon av salinitet uventet negative. Strømhendelsene var som ventet positivt korrelert ($r=0,091$). I datasettet med eksternt smittepress var smittepresset positivt korrelert med en koeffisient på 0,381.

Figur 8 viser korrelasjonsmatrisen for hendelsene i datasettet uten smittepress (R-pakke «PerformanceAnalytics»). Distribusjonen for hver variabel er vist diagonalt, over denne er korrelasjonskoeffisientene med symbolisert signifikansnivå, og under er spredningsplot med trendlinje. Ingen av de undersøkte forholdene (venstre kolonne og øverste rekke) var signifikante.



Figur 8: Korrelasjonsmatrise for de definerte hendelsene og infeksjonsvinduet (gitt ved 0 eller 1). Distribusjonen for variablene er vist diagonalt, over denne: korrelasjonskoeffisientene m/ signifikansnivå, under: spredningsplot med trendlinje.

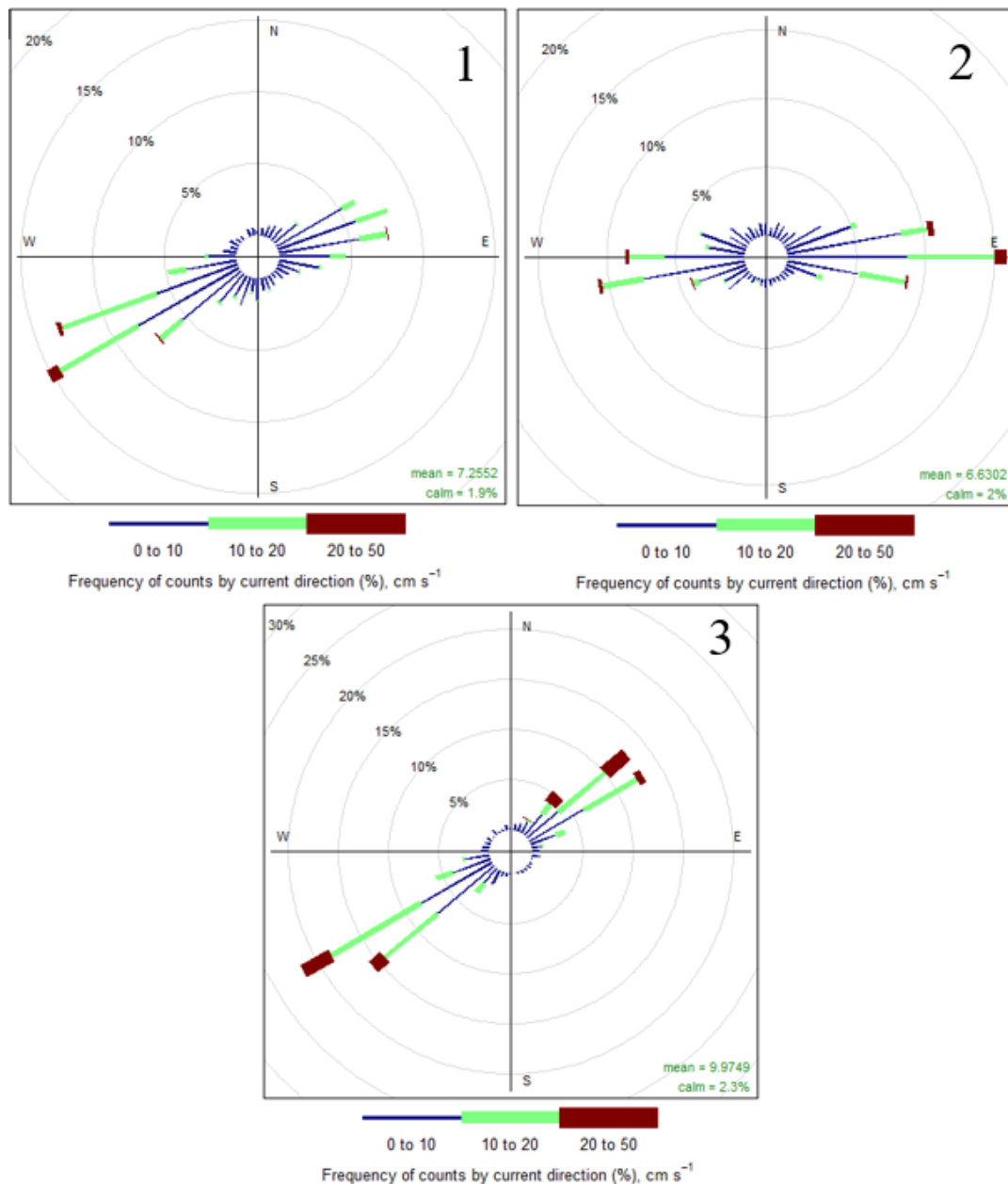
Ved GLM-test med miljøparameter (GLM1) var maks av middelvind signifikant for begge datasettene, med ($p=0,0449$) og uten ($p=0,0431$) eksternt smittepress. Variabelen var imidlertid negativt korrelert med den avhengige variabelen noe som var uventet. Altså kunne en lavere maks middelvind verdi (m/s) forklare observasjon av lus. For datasettet med smittepress var dette signifikant ($p=0,0259$) ved GLM1, og som forventet, positivt korrelert. Altså kan et høyere eksternt smittepress forklare observasjoner av lus. Også maks strømhastighet var positivt korrelert og signifikant ($p=0,0955$) ved GLM1 m/smittepress. Ingen av GLM-testene på de definerte hendelsene viste signifikans. Det ble også forsøkt med GAM-test på miljøparameter hvor maks av middelvind var signifikant ($p=0,0658$). P-verdier og korrelasjoner (positiv/negativ) er vist for alle tester i appendiks 4 «*P-verdier og korrelasjoner for alle utførte GLM og GAM tester*».

I datasettet uten smittepress, med størst utvalg, var det kun 4 vindhendelser hvor 3 av disse fant sted innenfor et infeksjonsvindu. Strømhendelser som funksjon av overflatesalinitet skjedde 6 ganger, samtlige utenfor infeksjonsvinduene. Salinitetshendelser fant sted 185 ganger, hvor 146 av disse skjedde ved samme lokalitet – fordelt på to merder med samme infeksjonsvindu. Majoriteten av hendelsene for disse to merdene skjedde utenfor infeksjonsvinduet (51 mot 22). Strømhendelser fant sted 434 ganger, hvor noen lokaliteter var vesentlig mer eksponerte for strøm enn andre. Begge datasettene brukt i analysene er lagt ved i appendiks 5 «*Datagrunnlag for analyser*».

Resultatene styrker den allerede etablerte teorien om at eksternt smittepress er en stor driver for infeksjon. De definerte hendelsene bærer preg av et lite utvalg med store geografiske forskjeller mellom lokaliteter. Spesielt salinitetshendelsene er nok kraftig påvirket av det høye antallet hendelser i samme periode ved to av merdene. Signifikansen av maks middelvind utenfor og innenfor infeksjonsvinduet viser at det forekom høyere vindstyrker i 0-periodene enn i 1-periodene men er trolig av liten relevans i denne sammenhengen. De retningsavhengige vindhendelse forekom sjeldent i de undersøkte periodene og har følgelig liten forklaringssevne, det samme gjelder de salinitetsavhengige strømhendelsene. Dette betyr dog ikke at de ikke kan medføre høyere inntrengningsrisiko.

3.2 Sammenlikning av merder basert på eksponering

Lokalitetene som undersøkes her ble valgt på bakgrunn av uniforme horisontale strømmønster. Samt at lokalitetsoppsettet var lagt opp på en slik måte at noen merder kunne antas å være skjermet av andre. Av de 9 tidligere undersøkte lokalitetene gav dette 3 aktuelle lokaliteter: Nordnes (1), Sommarbuk (2) og Tuvan (3). Strømrosene for de undersøkte lokalitetene er vist i figur 9, stolpene er tegnet i inkremitter på 10°. Strømrosene er basert på strømndata ved 5 meters dyp gjennom hele studieperioden.

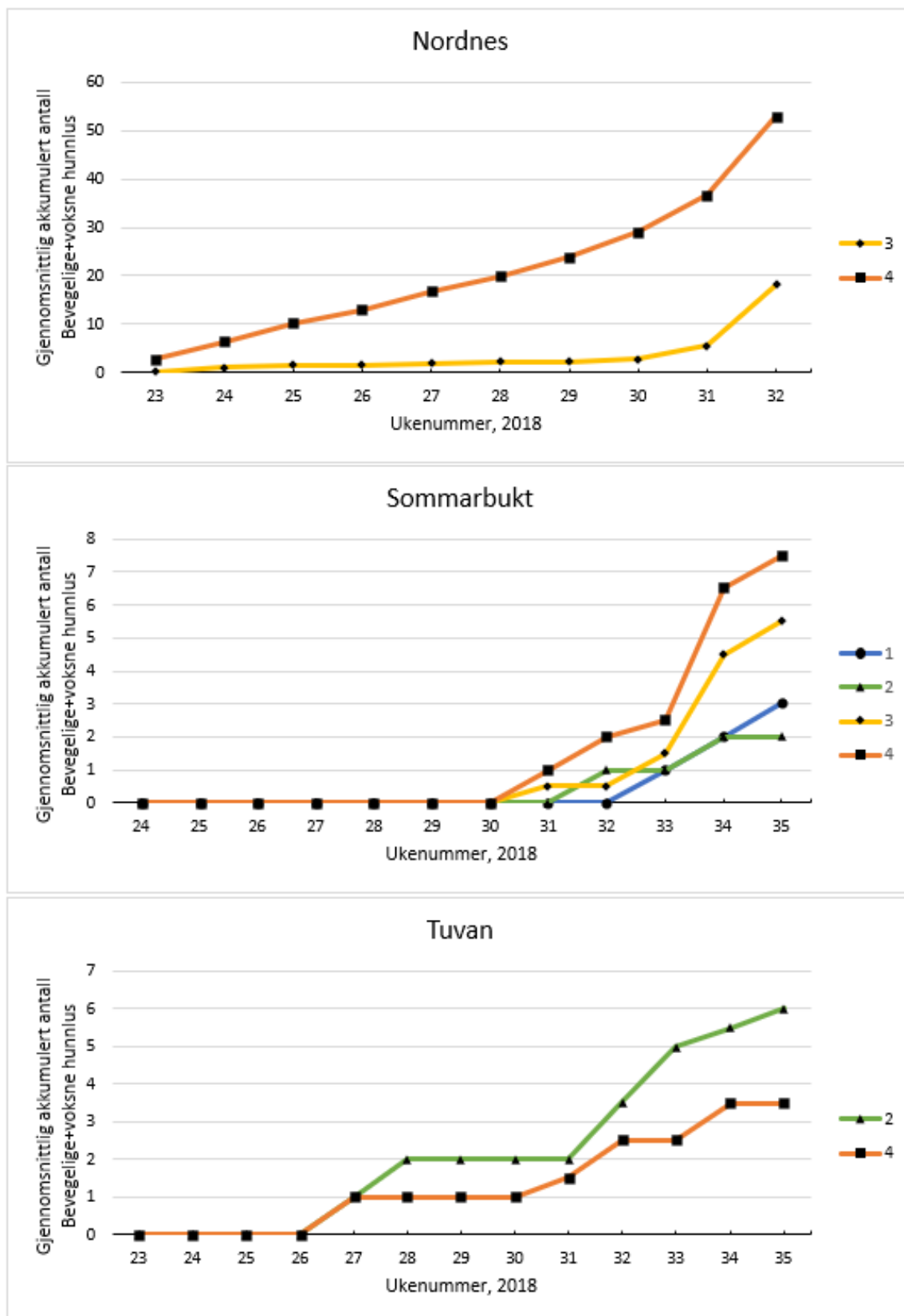


Figur 9: Strømroser for de undersøkte lokalitetene. Stolpene er tegnet i inkremitter på 10°. 1=Nordnes, 2=Sommarbuk og 3=Tuvan.

Hypotesen i denne testen var at merder som innenfor samme lokalitet var eksponerte for havstrøm, vind, eller begge ville ha et høyere lusepåslag enn skjermede merder. Dette ble undersøkt ved å etablere hvilke merder innenfor hver lokalitet som var eksponert for havstrøm, gitt ved strømrosene, og for vind, gitt ved verste vindretninger oppgitt i intervjuene. Hvorvidt disse vindretningene forekom i perioden er ikke undersøkt. Kategoriseringen er som følger: 1=skjermet, 2=eksponert for vind, 3=eksponert for strøm, og 4=eksponert for begge. Hvilke merder som tilhører hvilken kategori ved hver av lokalitetene er vist i tabell 6. Gjennomsnittlig antall observerte lus (bevegelige+voksne hunn lus) per kategori akkumuleres for hver uke i perioden, disse er så sammenlikningsgrunnlaget. Dette gjøres siden det er et ulikt antall merder innenfor kategoriene, og for å forsterke eventuelle forskjeller mellom merdene. Kategoribasert sammenlikning per lokalitet er presentert i figur 10.

Tabell 6: Oversikt over lokalitetene og kategorisering av merder.

| Lokalitet | Kategori 1 | Kategori 2 | Kategori 3 | Kategori 4 |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Nordnes | N/A | N/A | Merd 7-10 | Merd 1-6 |
| Sommarbukt | Merd 2 | Merd 11 | Merd 1 og 3 | Merd 10 og 12 |
| Tuvan | N/A | Merd 2 og 4 | N/A | Merd 1 og 5 |

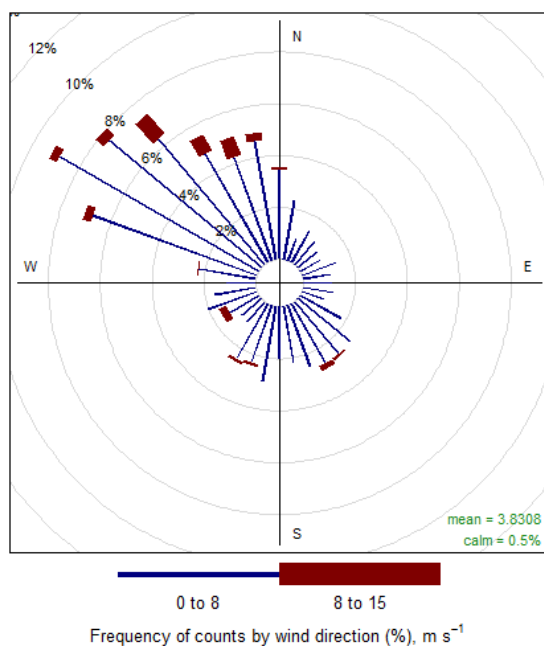


Figur 10: Gjennomsnittlig akkumulert antall lus (bevegelige + voksne hunnlus) per kategori ved Nordnes, Sommarbuk og Tuvan. Kategorier: 1=skjermet, 2=eksponert for vind, 3=eksponert for strøm, og 4=eksponert for vind og strøm.

Ved Nordnes er det stor forskjell mellom kategoriene. Kategori 4 merdene er eksponering for strømretningen sør-vest som av strømrosen viser de kraftigste strømmene. En sentral forskjell er størrelsen på fisken, kategori 3 merdene har fisk fra 450g-900g i perioden, kategori 4 er fra 1,9kg-3,8kg i perioden. Genetikken til fisken i kategori 3 merdene skal også være selektert for luseresistens. Forskjellen mellom merdene er følgelig strømforhold, stamfiskopphav, størrelse og eksponering for vind. For Nordnes ble det kjørt en chi-kvadrat-test på verdiene i siste uke i perioden som viste signifikant forskjell mellom kategoriene ($\chi^2=16,948$; $df=1$; $p<0,01$).

Stamfiskopphav eller størrelsesforskjell forklarer ikke forskjellene ved Sommarbukta som også har forventet utvikling mellom de ulike kategoriene. Selv om ulikhetene i antall lus er adskillig mindre later det til at merdene skjermet for havstrøm opplever færre infeksjoner. Det observeres flest lus i merdene som er eksponert for både strøm og vind. I kategori 1 og 2 merdene, som begge er skjermet for strøm, observeres det færrest lus i perioden.

Tuvan skiller seg fra de de overnevnte ved flest observerte lus i kategori 2 merdene, disse er antatt kun eksponerte for vind. Fisken i alle merdene har også samme stamfiskopphav og er i samme størrelsesorden. For å undersøke dette ble det laget en vindrose for Tuvan i perioden med samme fremgangsmåte som for strømrosene, figur 11. De røde områdene av stolpene er vindstyrker over 8 m/s (Beaufort 5). Vinden kom hovedsakelig fra retningen sør-øst i perioden som er oppgitt som en utsatt retning for lokaliteten. Retningen tilsier at alle merdene er eksponerte for vindhendelser i perioden.



Figur 11: Vindrose for lokaliteten Tuvan, uke 23-35. De røde delene av stolpene representerer vindstyrker over 8 m/s (Beaufort 5).

4 Diskusjon

4.1 Resultater

4.1.1 Miljøforhold ved infeksjonstidspunkt

Eksternt smittepress som driver for lusepåslag er tidligere dokumentert og disse resultatene styrker forholdet. Undertegnede er ikke kjent med noen studier på vind/bølger som potensiell driver, men basert på biologiske forutsetninger var det antatt at forholdet skulle være motsatt. Det er mulig at vind og overflateturbules kan ha en effekt som motvirker infeksjon. En slik effekt er diskutert for zooplankton generelt i *Johnsen, I. A. mfl. (2016)* for å unngå rovdyr, men er tilsynelatende ikke ennå observert for lakselus. Forfatterne antar også at effekten kan være motsatt for lakselus, ettersom de er avhengige av vert-møter. En annen mulig forklaring er at vindforholdene ved høye vindhastigheter har vært av en slik retning at overflatestrømmer motvirker infeksjonssannsynligheten ved noen eller alle lokalitetene, men dette er kun spekulasjon.

Kanskje mest sannsynlig er det at forholdet mellom maks vindstyrke og infeksjonsvindu er tilfeldig for dette utvalget. Maks middelvind sier kun noe om vindstyrken og ikke retning eller hvilke merder som i så tilfelle ville vært eksponert. I motsetning til middelvind viste den retningsavhengige vindvariabelen, gitt ved vindhendelser, en forventet positiv korrelasjon. Denne var riktignok ikke signifikant og med en relativt lav korrelasjonskoeffisient. Som nevnt tidligere er disse kun representert ved 4 hendelser. Forklaringsevnen til relativt enkle situasjonsbetingede hendelser kan imidlertid forventes å, isolert sett, være lav. Dette skyldes kompleksiteten i interaksjonene som kan føre til inntrengning som også nødvendigvis er tilfeldige til en viss grad. Resultatene er derfor også en indikasjon på at det er manglende variabler/hensyn som kan bidra til å bedre forklaringsgraden.

Datasettene i denne metoden inneholder to rader per merd, en 0-periode og en 1-periode. Summen av antall hendelser i hver periode er brukt for å se etter en sammenheng mellom de definerte hendelse med antakelsen om at disse ville forekomme hyppigst i 1-periodene og kunne linkes til luseinntrengning, og dermed en senere observasjon av lus. Hvorvidt dette er en egnet metode for å undersøke de hypotetiserte forholdene er usikkert. En forutsetning for luseinntrengning ved en hendelse er tilstedeværelsen av kopepoditter utenfor luseskjørtet - i en posisjon til å entre merden ved de gitte forholdene. Hendelsene vil naturlig nok finne sted uavhengig av dette og dermed muligens være misrepresenterte. Eksternt smittepress ble brukt for å forsøke å gjøre opp for dette, men smittepress gitt for en uke av gangen sier kun noe om

de generelle forholdene og ikke tidsspesifikk risiko for inntrengning. Dermed er det ikke gitt at forholdet mellom antall hendelser og observerte lus er lineært.

Gitt at miljøforhold ved individuelle merder er bestemmende for inntrengningsvei som antatt her er en stor svakhet i metoden at det kun undersøkes ett infeksjonsvindu per merd. Dette er en konsekvens av Cermaqs kategorisering av lus, som diskuteres ytterligere i kapittel 4.2. Ideelt sett skulle observasjoner av «nykommere» kunne skilles ut per uke, men av årsaker diskutert senere lar ikke dette seg gjøre på en hensiktsmessig måte. Dersom det hadde vært mulig, kunne en økning av en bestemt kategori lus vært undersøkt på samme måte som her, gjentatte ganger per merd. Med et stort nok utvalg skulle dette kunne si noe om miljøforhold som konsekvent fører til luseinntrengning i individuelle merder.

Metodikken kan også brukes ved å ta utgangspunkt i hendelsene og basert på temperatur regne seg frem i tid til når man forventer å observere bevegelige lus. Slik kan det være mulig å ved ulike nivåer av eksternt smittepress få et uttrykk for sjansen at en hendelse fører til infeksjon. Dette må imidlertid gjøres over en adskillig mye lengre periode, per merd, og er også avhengig av å kunne identifisere nykommere. Denne metoden ville kanskje muliggjort å bruke hendelsene i en prediksjonsmodell hvor sannsynlighet for inntrengning ved en hendelse er gitt av smittepress.

4.1.2 Sammenlikning av merder basert på eksponering

Ved de undersøkte lokalitetene var det klare forskjeller mellom de ulike kategoriene. Hvorvidt dette alene skyldes de undersøkte variablene er i varierende grad vanskelig å si. Ved Nordnes er det spesielt store forskjeller i antall observerte lus. Forskjellene er som nevnt eksponering for vind, strømstyrke ved ulike retninger, størrelsesmessig- og genetisk ulike laks. Ingen av disse effektene kan isoleres og forskjellen kan være forårsaket av de samlede effektene disse faktorene utgjør. Den kategoriserte forskjellen, vind, var i utgangspunktet forventet å utgjøre en relativt marginal forskjell avhengig av gitte vindforhold og ikke like utpreget som i tilfellet Nordnes.

Spesielt interessant er imidlertid den tilsynelatende store effekten av genetisk selektert laks. Smolt-typen brukt i disse merdene er ikke brukt ved de andre lokalitetene og kan tilsynelatende ha stor effekt. Det er også mulig at forskjellen kan skyldes størrelsen på fisken. En liknende effekt hvor antall lus er stigende med størrelse på laksen er funnet av *Jaworski, A. og Holm, J. C. (1992)*, men disse er motstridende med resultatene til *Tucker, C. S. mfl.*

(2002). Hvorvidt forskjellen kan forklares av overnevnte er usikkert, det kan også være forårsaket av andre ukjente årsaker. En mulighet er at dette skyldes strømretningene og transport av kopepoditter fra nærliggende lokaliteter som kun forekommer ved sør-vestlige strømmer. Dette ville i så fall trolig ha kunne forårsaket den observerte forskjellen. Utover dette er den eksponentielle utviklingen av antall lus i tråd med den tidligere nevnte teorien om internt smittepress (*Krkošek, M. mfl., 2010*). Dette med bakgrunn i det høye antallet lus ved kategori 4 merder ved Nordnes, kontra Sommarbuk og Tuvan. Dette kan imidlertid også være en direkte konsekvens av akkumuleringsmetoden som er brukt.

Sommarbuk viser resultater i tråd med hypotesen hvor strømekspanerte merder skiller seg negativt ut. Ytterligere er det også tilsynelatende en forskjell mellom kategori 3 og 4 som tilsier en negativ effekt av vind. Disse forskjellene er imidlertid relativt små i antall lus og kan skyldes andre faktorer eller være tilfeldige. Dette underbygges også av fraværende forskjell mellom antatt skjermede og kun vindeksponerte merder, kategori 1 og 2. I denne sammenhengen må det igjen påpekes at det ikke er tatt hensyn til vindforholdene i perioden, noe som kan forklare forskjellen mellom kategori 2 og 3. Det er verdt å merke at observasjoner av lus skjer først i strømekspanerte merder, så i vindeksponerte og sist i skjermede merder, dette kan naturligvis være en tilfeldighet men er i tråd med hypotesen.

Ved Tuvan gjøres det flest observasjoner av lus i de kun vindeksponerte merdene. Til å begynne med er forskjellen relativt liten i antall lus men er til stede og forsterkes i løpet av perioden. Det er svært usikkert hva dette kan skyldes men vindrosen for Tuvan indikerer at vind kan ha vært en faktor i perioden. I utgangspunktet var det forventet at de strømekspanerte merdene skulle skille seg ut negativt, men vindforholdene ligger til rette for inntrengning i samtlige merder dersom hypotesen om vind-drevet infeksjon stemmer. Stamfiskopphav er for øvrig det samme for alle merdene ved lokaliteten.

Effekten av ulike strømstyrker og mulige infeksjoner som konsekvens kan være spesielt interessant å undersøke ved ulike skjørtelengder. Inntrengning som konsekvens av strømforhold skyldes trolig to årsaker (ref. kap. 1.4.2.2). Nummer en er at vannmassene i møte med skjørtet ledes i andre retninger av obstruksjonen, sideveis og nedover. Vannet som presses ned langs skjørtet vil trolig innebære infeksjonsrisiko. Nummer to er den reduserte effektive dybden til skjørtet når strømkreftene legger press på det. Trolig kan den tidligere nevnte effektforskjellen mellom grunne (5-6 meter) og dype (10 meter) luseskjørt skyldes dette. Vannmassene som forskyves nedover kan stamme fra et dypere vannlag og dermed

inneholde færre kopepoditter i tilfellet dype skjørt. Konsekvensen av redusert effektiv dybde vil også trolig være mindre ved en dypere barriere.

4.2 Utvalg og infeksjonsvindu

Beregnete infeksjonsvindu var i denne studien basisen for å undersøke miljøforhold ved infeksjonstidspunktet. Som nevnt i kapittel 1.3.2 medfører dette noe usikkerhet knyttet til sesongbaserte og/eller regionale forskjeller i utviklingstider. Tidligere studier indikerer forskjeller i utviklingstid og det er nødvendig med ytterligere forskning på området. Som demonstrert av *Boxaspen, K. og Næss, T. (2000)* kan kaldtvannsadapterte lakselus takle kaldere klima bedre og muligens ha kortere utviklingstid ved lavere temperaturer enn andre populasjoner. En vekstmodell basert på observerte utviklingstider av lus samlet langs kysten av Nord-Norge i høstsesongen ville følgelig vært å foretrekke. I ytterste konsekvens kan ekstremverdier av miljøparameter som kunne vært knyttet til luseinntrengning falle utenfor det kalkulerte infeksjonsvinduet.

Utvalgsstørrelsen i studien er sterkt begrenset på grunn av stor usikkerhet i beregning av ytterligere infeksjonsvindu. Dette er på grunn av grupperingen av lusestadier ved tellingstidspunktet som oppgis som enten «juveniles» (fastsittende lus), «movable» (bevegelige) og «adult females» (voksne hunnlus). De første observasjonene antas som nevnt å være hannlus på grunn av forskjeller i utviklingstid mellom kjønnene. Dersom man skulle beholdt presisjonen og et hensiktsmessig tidsspenn i infeksjonsvinduet er det nødvendig å vite kjønn på bevegelige lus. Dette kan løses med konsekvensen at infeksjonsvinduet vil være et lengre tidsspenn. En annen faktor som spiller inn er at voksne hannlus vil akkumuleres i kategorien «bevegelige». For å ta høyde for dette må ukentlig økning i antall regnes ut mellom hver lusetelling. Men siden lus i kategorien «voksne hunnlus» forlater «bevegelige» kan en økning være maskert av denne reduksjonen. Økninger kan allikevel identifiseres og brukes som utgangspunkt, da med et større spenn i infeksjonsvindu.

Av årsaker nevnt tidligere var det også uaktuelt å basere infeksjonsvinduene på observasjoner av fastsittende lus på grunn av for stor usikkerhet i kategoriseringen. Den nevnte usikkerheten (kap. 1.3.1) ble også observert ved fravær av registrerte fastsittende lakselus i forkant av registreringer av bevegelige lus. Dette kan ha flere årsaker, enten at de er for vanskelige å se ved lusetellingen, eller at de blir kategoriserte som skottelus. Et annet uunngåelig usikkerhetsmoment ved å basere seg på produksjonsdata er at lusetellinger gjennomføres på

20 fisk og må behandles som et representativt utvalg for hele merden, som gjerne inneholder mellom 100.000 og 200.000 fisk.

4.3 Variabler

4.3.1 Vindvariabelen

Vindvariabelen brukes her som en proxy for vindgenererte bølger og sjøsprøyt med bakgrunn i den anerkjente og mye brukte Beaufort-skalaen. Antakelsen er at bølger og sjøsprøyt kan føre med seg planktoniske larver inn i merder, over luseskjørtet. I denne studien er variabelen representert ved observerte verdier fra meteorologiske målestasjoner som fungerer som referanse for «nærliggende» lokaliteter som vist i tabell 5. Dette er problematisk fordi vind fra ulike retninger kan gi svært ulike lokale forhold langs en forreven kystlinje preget av fjell, nes, holmer og fjorder. Vindretning og styrke målt ved ett punkt er derfor ikke nødvendigvis sammenliknbar med vindretningen og styrken ved et annet punkt.

Opprinnelig skulle denne være modellert fra FVCOM-modellen med lokalitetens geografiske plassering som utgangspunkt. Modellerte data ble vurdert til å være den mest nøyaktige metoden, foruten faktiske observasjoner fra lokaliteten som ville krevd utplasserte vindmålere. På grunn av en misforståelse og begrensninger i tid var ikke dette mulig. Bølgehøyde ble utelatt som variabel på bakgrunn av at dette ikke representere sjøsprøyt eller brytende bølger. Ved for eksempel lokalitetene Vassvika og Marøya i Loppa oppleves det ofte høye bølger målt i meter men disse er ofte forholdsvis rolige og udramatiske «dønninger» og representerer ikke en infeksjonsvei i denne sammenhengen. Dette er en konsekvens av at disse lokalitetene ligger i en fjord som er åpen mot storhavet, disse er til gjengjeld ekstra eksponerte ved dårlig vær fra spesifikke vindretninger.

Effekten til vindgenererte bølger påvirkes av en rekke faktorer som må hensyntas for å estimere effekt. Først er de avhengige av strøklengden, et åpent havstykke som er langt nok til at friksjonen mellom vind og hav kan frembringe bølgene. Nødvendig distanse vil mest sannsynlig være avhengig av vindstyrke. Basert på dette kan man anta en skjermingseffekt av for eksempel holmer. Bølger som er frembragte over en lengre distanse vil treffe holmen, og på den andre siden av holmen vil de måtte skapes på nytt. Dette er forutsetningen for å anta en skjermingseffekt av obstruksjoner langs strøklengden, som alle landmasser, men også andre merder samt eventuell fôrflåte i tilknytning til lokaliteten.

En bedre metode, enn den brukt, for å finne grad av eksponering for vindvariabelen er å sirkulært regne ut distanse til nærmeste obstruksjon for hver merd. Deretter basere eksponering til hver enkelt merd på denne distansen ved gitte vindretninger og vindstyrker. Varigheten av vindforhold bør også antakeligvis vektlegges. Trolig vil vedvarende vind fra samme retning føre til at vindhendelser mot slutten av perioden medfører større inntrengningsrisiko. Vindhendelse brukt i denne studien er som nevnt basert på 10-minutters gjennomsnitt, og en enkelt måling blir ikke sett i sammenheng med foregående eller neste måling. Ulike metoder for beregning av vindgenererte bølger beskrives i *Jensen, Ø. og Lien, E. (2005)*, og *Jensen, Ø. (2006)*, og kunne nok med fordel vært benyttet her.

4.3.2 Strømvariabelen

Strømvariabelen presenterer den største utfordringen og flest usikkerhetsmoment i forsøk på å nøyaktig predikere inntrenging. Enhver lokalitet har som tidligere nevnt ulike forutsetninger for hvordan havstrømmene kan påvirke luseinntrenging. FVCOM-modellen gir som tidligere nevnt gode horisontale strøimestimater basert på blant annet batymetri og andre naturgitte forhold ved en lokalitet. Den største utfordringer er imidlertid det fullstendige strømbildet innenfor overflatearealet av oppdrettslokalitetene som er ekstremt komplekst og krever store ressurser innenfor hydrodynamisk modellering for å kartlegge nøyaktig.

Vindvariabelen har i denne studien forsøkt å ta høyde for eksponeringsgrad ved enkeltmerder. Samme metodikk behøver ikke fungere for strøm siden de komplekse strømsystemene som oppstår i kollisjon med bla. nøter og luseskjørt kan få følge-effekter lengre inn i lokaliteten (*Klebert, P. og Su, B., 2020*). For å kunne predikere luseinntrenging kan det være nødvendig å 3D modellere strømbildet innenfor hver enkelt lokalitet ved ulike naturgitte omstendigheter gjennom scenariomodellering. Dette medfører usikkerhet rundt havstrøm-drevet infeksjonsvei. I tillegg til merder definert som eksponerte i denne studien kan også nærliggende merder, på grunn av lokale endringer i horisontale og vertikale strømmønster, også være eksponerte.

Dersom strømbildet innenfor lokaliteten kan modelleres for å estimere grad av eksponering for enkeltmerder ved ulike normalt forekommende strømforhold kan strømvariabelen være en funksjon av naturgitte inn-verdier for å bestemme grad av eksponering i enkeltmerder når man kjenner strømvektorene. Dette kan for eksempel løses med strømmålere på referansepunkt for lokaliteten. Siden lokaliteten å merdkonstruksjonen i stor grad påvirker det lokale strømbildet må dette mest sannsynlig løses ved å utplassere flere sensorer slik at man

bruker input fra en som på måletidspunktet ikke påvirkes av lokalitetens tilstedeværelse. Alternativt kan det være mulig å knytte lusepåslag i enkeltmerder til strømretning og styrke statistisk. I så fall er det nødvendig med et mye større utvalg enn det som er brukt i denne studien.

Ingen av disse løsningene er nødvendigvis hensiktsmessig siden lokalitetsspesifikke forhold ikke er statiske. Antall merder, nøter og luseskjørt til stede innenfor lokaliteten kan variere med ulike tidspunkt. Lusetiltak kan endre seg, eksempelvis lengden og typen på luseskjørt, som igjen vil medføre endringer i de lokale hydrodynamiske forholdene. Gitt det ressurskrevende arbeidet med modelleringen, og utvalgsstørrelsen nødvendig for en statistisk tilnærming kan en slik finskala scenariobasert strømmodellering være uoppnåelig. Det må imidlertid nevnes at undertegnede ikke er godt kjent med ressursbruken og assosierte kostnader med en slik prosess.

4.3.3 Temperaturvariabelen

Som nevnt i metoden er det brukt modellerte temperaturer og ikke observasjoner fra lokalitetene. Temperatur som registreres med lusetellingene er et gjennomsnitt for foregående uke, fordelen med å bruke modellert data var en høyere oppløsning og ingen behov for tidsinterpolering av temperaturer. Rå sensor data var for øvrig tilgjengelig for studien men til en viss grad fragmentert. I mange tilfeller er det flere miljøstasjoner per lokalitet som registrerer temperatur og eventuelle tomrom i valgt sensor kunne vært fylt med temperaturmålinger fra andre sensorer. Modellert data ble dog foretrukket siden dette innebar mindre vasking og prosessering. Når det først ble valgt modellerte data kunne disse med fordel vært hentet fra rundt 11 meters dyp som ble funnet å være foretrukket gjennomsnittsdybde for laks ved bruk av 6 meters luseskjørt av *Gentry, K. mfl. (2020)*.

4.3.4 Salinitetsvariabelen

Denne studien er basert på salinitet ved to dyp, overflate og -5 meter. Kopepoditters preferanse for fullsalinitets sjøvann er best uttrykt ved %-andel av populasjon i ulike salinitetslag som vist av *Crosbie, T. mfl. (2019)*. Salinitet er dermed best egnet som en variabel som beskriver hvor i vannsøylen majoriteten av larvene befinner seg eller som en kurve med salinitet mot %-andel av populasjon. I praksis vil dette fungere som en bestemmende variabel for infeksjonsvei ved ulike scenarier av vind- og strømforhold.

4.3.5 Felles for modellerte variabler

Felles for modellerte parameter (strøm, temperatur og salinitet) er at det benyttes ett enkelt målepunkt per lokalitet. Ideelt sett skulle gjerne flere av en lokalitets målepunkter vært brukt til å lage et gjennomsnitt for hvert tidspunkt for å utelukke feilpotensialet i de enkeltvise punktene. Data for disse parameterne ble hentet for hver andre time, og ikke hver time. Konsekvensen er at man risikerer å miste enkelte høye eller lave ekstremverdier, samt mister noe presisjon i gjennomsnittsverdiene kontra å bruke timesdata. Det må allikevel understrekes at det i studien ligger mellom 8 og 12 verdier bak hvert daglige gjennomsnitt noe undertegnede anser som relativt høy oppløsning med forbehold om rette verdier. Begge de overnevnte feilkildene vil alltid være en oppveining mellom nøyaktighet og datamengde enten det dreier seg om 1 vs. 2 punkter kontra 10 vs. 15 punkter eller hver time vs. Hver andre time kontra hvert 10 minutt eller hvert 20 minutt. For punktene må det imidlertid også sies at konsekvensen av at det ene punktet viser feile verdier er større enn om man benytter flere.

Temperatur og salinitet kunne med fordel vært basert på observerte verdier fra lokalitetene. Basert på *Ge, J. mfl. (2012)* og *Zhang, A. og Wei, E. (2007)* kan disse modellerte variablene avvike noe fra observerte verdier. Som nevnt avhenger presisjonen til modellen av konfigureringen, basert på kommunikasjon med NIVA er disse antatt å være tilfredsstillende presise for formålet men innebærer usikkerhet. Undertegnede er ikke kjent med validering av modelldataen brukt i denne studien. Det er heller ikke gjort noe forsøk på dette ettersom vertikal fordeling (0 og -5m) brukt her avviker fra observasjonene ved lokalitetene (-3m). Dette i kombinasjon med overnevnte usikkerheter med modellerte data gjør at det nok ville vært fordelaktig med sensordata fra lokalitetene, dette ville imidlertid krevd mer tid innen datainnsamling og prosessering.

4.4 Andre påvirkende faktorer

De statistiske analysene som gjennomført virker som en god metode å undersøke merd- og lokalitetsspesifikke miljøforhold som ved normaltilstander fører til luseinntrengning og påslag. I denne studien er utvalget sterkt begrenset av usikkerhet rundt nykommere grunnet grupperingen av lusen ved tellingstidspunktet, det ville vært fordelaktig å analysere flere infeksjonsvindu per merd dersom man kunne identifisert disse. Undertegnede oppfatning er at denne metodikken er best benyttet før første avlusning grunnet vanskeligheter med kvantifisering av akkumulerte effekter som langtidsvirkning av behandlingen (eks. emamektin) og håndteringen. Innsiget av lus i merden vil fortsatt være kvantifiserbart ved

antall nykommere (om praksisen for registrering av lus endres) men vil bære preg av større usikkerhet knyttet til lusens festesuksess. Dersom det skal tas høyde for avlusning og deres effekt og ettervirkning er det også viktig å ta høyde for resistensutvikling som kan variere mellom populasjoner og over tid.

Usikkerheten er i en noe mindre grad også til stede ved infeksjonsvindu-metoden på grunn av ulike smolt-typer og stamfiskopphav. Med et større utvalg kunne denne usikkerheten vært gjort rede for ved å analysere fiskegrupper med like biologiske forutsetninger for lusepåslag, men en slik inndeling var ikke hensiktsmessig med et såpass lite utvalg. Ved en slik gruppering kan det være mulig å sammenlikne lusemottakelighet på tvers av fiskegrupper ved sammenliknbare forutsetninger som eksternt smittepress. Dette forutsetter imidlertid også merd-spesifikke data om forutsetningene for lusepåslag (eks. skjørt, undervannslys, fôrtype og gjennomsnitts vekt).

Ved å bruke time-data åpner muligheten seg for å ta høyde for fototaktisk-migrasjon i vannsøylen, både mtp. laks og lus. Dette kunne vært gjort ved å skille dag- og natt tid. Lav salinitet i øvre vannlag kan ha en større effekt dersom lusen også er drevet ned i vannsøylen på nattetid. Dette er imidlertid ikke tatt høyde for i denne studien av to hovedgrunner. For det første er studien basert på ekstremverdier funnet ved min/max-verdier innenfor et tidsvindu, når i løpet av et døgn disse forekom er ikke tatt høyde for. Men for forbedring kan disse skilles ved 0- og 1- verdier hvor 1 kan bety at miljøparameter skjedde etter solnedgang, eventuelt en skala for å inkludere ulike lysforhold. Det kan da være mulig å undersøke om denne «lysvariabelen» har noe innvirkning, med forutsetning om større datasett. For det andre er ikke undertegnede kjent med noen studier på hvorvidt midnattssol påvirker denne oppførselen hos lus. Det er dog mulig at dette kan dedukeres fra tilgjengelige studier på fototaktisk sensitivitet som går over lengre perioder. Undervannslys ble ikke relevant for de undersøkte periodene.

Oksygenivået i en merd kan muligens være bestemmende for laksens plassering i vannsøylen. Miljøstasjoner og tilhørende sensorisk data for oksygen er gjerne representert ved en eller to målestasjoner per lokalitet. Disse verdiene er unike for merden de måles i, blant annet på grunn av groe på nøtene, biomasse, laksens størrelse og en merds plassering i lokaliteten. Dette kan muligens løses ved å bruke referansestasjon i tilknytning til flåte for å predikere oksygenivåer i hver merd som en funksjon av nevnte variabler. I så fall må det beregnes en fast reduksjon for vannutskiftning som følge av luseskjørtet, som igjen vil være

avhengig av strømhastighet. Det er imidlertid ikke gjort noen forsøk på dette i forbindelse med denne studien.

4.5 Historiske produksjonsdata, forbedringsområder

Som allerede belyst har det vært en del utfordringer både i forhold til utnyttelse og innsamling av datamateriale for studien. Vaskingen av datamaterialet var enormt tidkrevende siden alle registreringene fra utsett gjøres i merdnummeret denne fisken ble slaktet fra, til tross for at de kan ha vært flyttet mellom merder og lokaliteter. Derfor måtte først en rekke registreringer flyttes på og slås sammen. I flere tilfeller var et opprinnelig samlet antall fisk i en merd fordelt på to merder, følgelig var alle lusetellinger og registreringer før splittelsen fant sted duplikater hvor en av disse var feilnummererte i forhold til merd. Det samme var tilfellet for fisk som var flyttet mellom lokaliteter, denne fiskens livsløp var registrert i ankomstmerden/lokaliteten også før flyttingen. Dette innebar å spore livsløpet tilbake ved hjelp av andre verktøy i Fishtalk og manuelt flytte registreringer for å få rett antall fisk i rett merdnummer ved rett lokalitet. Jeg ønsker dog å spesifisere i denne sammenheng at informasjon i forhold til en lokalitets biomasse etc. naturligvis er korrekte i sine respektive registreringsskjemaer og at dette var en utfordring kun tilknyttet de historiske datasettene for lusetellinger.

Driftstekniske data i forhold til brukt av luseskjørt, undervannslys samt merdoppsett ved lokalitetene måtte innhentes ved intervju. En stor svakhet med dette er at det er vanskelig å få nøyaktige data flere år tilbake i tid ettersom dette i så tilfelle er avhengig av hukommelse. Luseskjørtprodusent kunne ikke bestemmes, dette medfører noe usikkerhet rundt effekt av strømhastigheter som nok kan variere mellom produsenter avhengig av materialvalg og nedtyngningsmetode av presenningen. Hvorvidt luseskjørt var hevet en spesiell dag i forbindelse med en arbeidsoperasjon eller utskiftning av skjørt kunne derfor ikke inkluderes. Det samme var eksakte tidspunkt for utsett av undervannslys ved enkeltmerder og lokaliteter. Lys i dette tilfellet var ikke relevant for studieperioden men det kan være et viktig aspekt i andre sammenhenger. Nummerering og oppsett av merder varierte mellom lokaliteter og måtte også innhentes ved intervju for å vite hvilken merd som lå hvor innenfor lokaliteten.

På bakgrunn av overnevnte anbefales det å føre en per merd/per fiskegruppe journal hvor all informasjon om en gitt merd samles. I dag er det et skille på daglig (utføring, vekst, biomasse etc.) og ukentlig (lusetellinger) registrerte data. Det foreslås en standardisert løsning som kombinerer disse til ett samlet daglig registreringsskjema hvor en lusetelling som finner sted representeres ved 0- og 1 registreringer og tilhørende N/A eller aktuell info. I denne journalen

må også driftstekniske data registreres, som merdtype, bunnring (ja/nei), lys (og type), luseskjørt (lengde/type) og is-skjørt, disse kan representeres ved 0- og 1-verdier på en daglig basis med ytterligere informasjon om type/modell i overskriften. Arbeidsoperasjoner som for eksempel krever heving av luseskjørt må også følgelig registreres med en 0-verdi den dagen. Gjerne med et notat om operasjonen. Forekommer ulike typer lys eller skjørt under en produksjonssyklus i samme merd lages en ny registreringsfane med informasjon om den nye typen, og følgelig vil alle registreringer av den foregående typen være 0. For denne studiens undersøkelse av en vinddrevet infeksjonsvei og potensielle obstruksjoner hadde det også vært fordelaktig å til enhver tid ha informasjon om burene i lokaliteten, og hvorvidt det var en merd i buret.

Andre handlinger må også inkluderes. Flytting/oppdeling av en fiskegruppe fra opprinnelig merd medfører endring i registrert lokalitet/merdnummer. Gjerne også med et notat om selve flyttingen (e. g. oversvømming eller brønnbåt). Flytting med brønnbåt i forbindelse med avlusninger etc. vil måtte behandle annerledes enn eksempelvis oversvømminger, hvor undertegnede er under inntrykk av at luseskjørt midlertidig må heves. Avlusninger må også inkluderes på samme måte som de registreres i dag på en per merd basis med informasjon om benyttet metode. Dette kan gjøres på samme måte som gjøres for lusetellinger i dag, 0- og 1-verdier indikerer om telling har funnet sted, og inkluderer eventuell tilhørende informasjon ved 1 verdier.

Kort fortalt er hovedmålet ett enkelt registreringsskjema per fiskegruppe som kan håndtere all relevant informasjon. Forslagene som presentert her er overfladiske og ment som retningslinjer, hvordan dette gjøres rent praktisk i forhold til systemene som er i bruk i dag har ikke undertegnede noe formening om. Ideelt sett ville denne praksisen vært gjort på tvers av oppdrettsselskap og registreringsskjema utformet på en slik måte at de tilpasses hver lokalitet og forhold/lusetiltak ved lokaliteten. Dette ville muliggjort enkelt datainnsamling og kompilering fra ulike lokaliteter og selskaper for kvantitative analyser innenfor en rekke forskningsområder. Det må imidlertid understrekes at undertegnede ikke er en erfaren bruker av Fishtalk-systemet og dermed kan ha oversett rapporteringsmetoder. Men også i et prosjekt i regi av FHF er denne problemstillingen tatt opp og de skriver følgende:

«Store deler av oppstarten av prosjektet ble brukt til å definere et felles format for eksport av data fra alle oppdrettsaktørene til Proactima. Dette ble utført av Steinsvik gjennom Aquafarmer og AKVA Group via Fishtalk. Dette krevde ressurser som i utgangs punktet ikke var påtenkt. Videre, før data kunne tas i bruk ble alle «live» data fra oppdrettslokasjonene kontrollert og «vasket» for å sikre kvaliteten på registreringene.» (Danielsen, T., 2019)

4.6 Nytteverdi

Nytteverdien av de statistiske analysene på infeksjonsvindu er i denne formen begrenset. Metodikken bak analysene kan nok imidlertid med fordel forbedres. Blant annet er utvalgsstørrelsen som nevnt svært begrenset. Om man kan lykkes med å videreutvikle metoden kan den trolig være nyttig i å identifisere forhold som fører til luseinntrengning både generelt for lokaliteter og på en per merd basis. Sammenlikningen av de kategoriserte merdene på lokalitetsnivå viste resultater i tråd med hypotesen og er, gitt datagrunnlaget, trolig bedre enn infeksjonsvindu-analysen til å gi indikasjoner på miljøforhold som virker i favør infeksjon. Som vist her er det antydninger til at strømeksponeerte merder opplever mer lus. Effekten av vind er fortsatt usikker men antas fortsatt å spille en rolle i enkeltmerders lusesituasjon.

Noen av de overnevnte usikkerhetsmomentene er utredet og kvantifisert av Aldrin, M. mfl. (2017) i deres arbeid med en populasjonsmodell for predikering av lakselus på per merd- og lokalitetsbasis. For eksempel er forsinket effekt og langtidseffekt av avlusninger kvantifisert og brukt som modellparameter for prediksjon av populasjonsutvikling. En sentral forskjell på tilnærmingene er lusestrategi hvor rensefisk var deres tilfelle. Denne studien belyser noen interessante problemstillinger med prediksjon av luseforekomster når barriereteknologi tas i bruk. Aldrin, M. mfl. (2017) bruker salinitet for å beregne dødelighet i de planktoniske stadiene i forhold til spredningsmodellering, men i tilfelle luseskjørt antas det her at dette også kan være bestemmende for infeksjonsvei (over/under). Ved lave salinitetsnivåer kan imidlertid også lusens festesuksess påvirkes og må tas i betraktning (Brooker, A. J. mfl., 2018).

Lusens fototaktiske oppførsel kan også antas å ha en liknende effekt under ulike lysforhold. Luseinntrengning forårsaket av sjøsprøyt som hypotetisert her avhenger av tilstedeværelse av lus ved overflaten og er nok best representert som en funksjon av salinitet og lysforhold. Den største utfordringen med barriereteknologi er imidlertid hvordan det lokale strømbildet

endres. Metodikken i denne studien er derfor preget av en del usikkerhetsmomenter som også gjenspeiles i de statistiske analysene og variablenes forklaringsevne.

Spesielt ved bruk av barriereteknologi kan trolig prediksjonsmodeller være av stor nytte. For å oppnå tilstrekkelig presisjon i disse er det nødvendig å kjenne miljøforhold som kan medføre forhøyet inntrengnings- og infeksjonsrisiko. Dersom videre forskning på området greier å kvantifisere risiko for inntrengning basert på overnevnte per-merd forutsetninger kan det bli et viktig verktøy i overvåkning og predikering av lusesituasjon. I kombinasjon med kontinuerlig miljøovervåkning kan dette potensielt redusere «unødvendige» avlusninger i merder som strengt tatt ikke behøver det (ref. kap. 1.6, *forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg* paragraf 9).

Noen av svakhetene er en konsekvens av datagrunnlaget. Ved å benytte historiske produksjonsdata fra Cermaq er det oppdaget flere forbedringsområder som kan bidra til økt egnethet av datamaterialet innenfor akademia. Nytteverdien av dette ansees å være stor for både oppdrettsaktører og forskere. En forutsetning for større kvantitative analyser er at datasett er standardiserte og inneholder så mye relevant informasjon som mulig. Denne studien er i stor grad avhengig av hukommelsen til driftslederne og viktige variabler kunne kun avdekkes ved intervju. Dette er informasjon som generelt sett på en per merd- og lokalitets basis er lett tilgjengelig og i aller høyeste grad registrerbar. Undertegnede er kjent med arbeidslogger og dagbøker som føres hvor informasjonen er tilgjengelig og nedskrevet men å bruke disse innebærer en stor arbeidsmengde som ikke er hensiktsmessig på en per-studie basis. Viktigheten av kontinuerlige målinger fra utplasserte miljøstasjoner må også understrekes, nedetiden på disse må etterstrebes å holde på et minimum.

5 Konklusjon

Til tross for uklare resultater i de statistiske undersøkelsene kan ikke null-hypotesen om luseinntrengning ved gitte miljøparameter, spesielt vind, forkastes. Grieg Seafood Finnmark AS (Grieg) har i samme produksjonsområde en ulik lusestrategi som blant annet innebærer bruk av rensfisk. Ytterligere bruker de, i motsetning til Cermaq med 6 meters presenning skjørt, en kombinasjon av 8- og 10- meters presennings luseskjørt avhengig av nøter. De er også i en prosess med utprøving av luseskjørt med såkalt «skvettkant» for å bidra til å hindre sjøsprøyt inn i merden. Disse har også tidvis vært substituert med is-skjørt for å oppnå samme effekt, men det er ikke opplyst en kvantifisert effekt av dette (*Urskog, T., personlig kommunikasjon, 05.02.21*).

Bruk av luseskjørt og type må vurderes på en per lokalitets basis med utgangspunkt i fiskevelferdshensyn og vekst ift. oksygenivåer, samt lokalitetssertifiseringer og fortøyningsanalyse. Men med bakgrunn i tidligere forskning og Griegs' tilnærming anbefales det at Cermaq vurderer å adoptere den samme tilnærmingen med dypere luseskjørt utstyrt med skvettkant. Tidligere forskning antyder en større skjermingseffekt mot infeksjøs kopepoditter med dypere luseskjørt, trolig kan dette skyldes effektene som diskuteres i kapittel 4.1.2. Det anbefales også et proaktivt arbeid med å redusere risiko for inntrengning over skjørtekanten, enten ved skvettkant, is-skjørt eller på annen måte.

Ved Nordnes er det indikert en stor effekt av genetisk selekterte laks i sammenlikningen av de kategoriserte merdene. Dersom også erfaring tilsier en slik effekt kan de trolig brukes strategisk i eksponerte merder. Bruken av smolt-typen later til å være noe restriktiv, av ukjente årsaker, men antas å kunne brukes i eksponerte merder som et forebyggende tiltak i merder med høyere inntrengningsrisiko. På grunn av den restriktive bruken foreslås det å vurdere dette for lokaliteter som ligger parallelt med sterkt definerte hovedstrømretninger. Ved disse lokalitetene kan trolig et fåtall merder antas å, på grunn av plassering, ha forhøyet inntrengningsrisiko på grunn av sterk havstrøm. Effekten av dette skulle relativt enkelt la seg teste ved resistens-selektert laks og «vanlig» laks i nabomerder med samme grad av eksponering.

Nytteverdien av historiske lusedata vil muligens kunne bli høyere ved å kategorisere flere utviklingsstadier. Det foreslås å gjøre to endringer i disse hvor førstnevnte er viktigst. Inkludere en egen kategori for voksne hannlus, og skille mellom kjønn i de bevegelige

stadiene. Sannsynligvis vil dette gjøre lusetellinger noe mer tidkrevende samt stille høye krav til gode lysforhold under tellingen for å sikre presisjon. Å skille kjønn i bevegelige stadium kan muligens medføre bedre prediksjoner av fremtidig lusenivåer, gitt at naturlig dødelighet mellom stadiene tas i betraktning. Bevegelige hunnlus kan være en god indikator på fremtidig lusesituasjon på samme måte som voksne hunnlus brukes i dag.

Videre oppfordres det sterkt til både Cermaq, Grieg og oppdrettsnæringen generelt å ved hjelp av oppdrettsklynger liknende den i Finnmark - eller gjennom prosjekter som gjennomført av *Danielsen, T., (2019) (FHF)* - å finne felles løsninger for registrering av produksjons, sensoriske og driftstekniske data. Trolige er både prosesseringsbehov og manglene som diskutert her barrierer for full utnyttelse av de enorme mengdene tilgjengelig datamateriale. Undertegnede er kjent med prosjekter som angår samling og lagring av produksjonsdata for fremtidig bruk og håper bidraget gitt her kan være med på å belyse noen av problemstillingene som oppstår i akademisk arbeid med dagens format.

Referanseliste

Aaen, S. M., Helgesen, K. O., Bakke, M. J., Kaur, K. og Horsberg, T. E., 2015. Drug resistance in sea lice: a threat to salmonid aquaculture. *Trends in Parasitology*, vol. 31, No. 2, 72-81. <https://dx.doi.org/10.1016/j.pt.2014.12.006>.

Akvaplan NIVA, ukjent. Oseanografi. Tilgjengelig fra: <https://www.akvaplan.niva.no/radgivning/oseanografi/> (08.05.21)

Andrews, M. og Horsberg, T. E., 2020. Sensitivity towards low salinity determined by bioassay in the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). *Aquaculture*, vol. 514. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734511>.

Barentswatch, 2018. Om oss. Tilgjengelig fra: <https://www.barentswatch.no/om/> (08.05.21)

Barentswatch, ukjent, a. Nedlasting, nedlasting av fiskehelsesdata. Tilgjengelig fra: <https://www.barentswatch.no/nedlasting/fishhealth/lice> (08.05.21)

Barentswatch, ukjent, b. Barentswatch nettbasert kartløsning, kartlag «*Akvakultur lokaliteter*». Tilgjengelig fra: <https://kart.barentswatch.no/> (08.05.21)

Barrett, L. T., Oppedal, F., Robinson, N. og Dempster, T., 2020. Prevention not cure: a review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 1-17. <https://doi.org/10.1111/raq.12456>.

Birkbeck, T. H. og Treasurer, J. W., 2013. *Vibrio splendidus*, *Vibrio ichthyenteri* and *Vibrio pacinii* isolated from the digestive tract microflora of larval ballan wrasse, *Labrus bergylta* Ascanius, and goldshiny wrasse, *Ctenolabrus rupestris* (L.). *Journal of fish diseases*, vol. 37, iss. 1, pp. 69-74. <https://doi.org/10.1111/jfd.12116>.

Boxaspen, K. og Næss, T., 2000. Development of eggs and the planktonic stages of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) at low temperatures. *Contributions to zoology*, 69(1/2), 51-55. <https://doi.org/10.1163/18759866-0690102005>.

Boxaspen, K., 2006. A review of the biology and genetics of sea lice. *ICES journal of marine science*, vol. 63, iss. 7, pp. 1304-1316. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.04.017>.

Brooker, A. J., Mauritzen-Skern, R. og Bron, J. E., 2018. Production, mortality and infectivity of planktonic larval sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837): current knowledge and implications for epidemiological modelling. *ICES Journal of Marine Science*, 75(4), 1214-1234. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy015>.

- Bui, S., Oppedal, F., Nilsson, J., Oldeham, T. M. W. og Stien, L. H., 2019. Summary and status of deep lights and deep feed use in commercial settings: welfare, behaviour and infestation at three case study sites. Rapport fra havforskningen, 2019-4. Tilgjengelig fra: https://www.hi.no/hi/nettrapporter/dypelysogforing_kunnskapssammenstilling_sluttrapport.docx (24.03.21)
- Bui, S., Stien, L. H., Nilsson, J., Trengereid, H. og Oppedal, F., 2020a. Efficiency and welfare impact of long-term simultaneous in situ management strategies for salmon louse reduction in commercial sea cages. *Aquaculture* 520, 734934. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734934>.
- Burrige, L., Weis, J. S., Cabello, F., Pizarro, J. og Bostick, K., 2010. Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, vol. 306, iss. 1-4, pp. 7-23. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020>.
- Coates, A., Phillips, B. L., Oppedal, F., Bui, S., Overton, K. og Dempster, T., 2020. Parasites under pressure: salmon lice have the capacity to adapt to depth-based preventions in aquaculture. *International Journal of Parasitology* 50, pp. 865-872. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2020.05.009>.
- Costello, M. J., 2006. Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish. *Trends in Parasitology*, vol. 22, No. 10. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2006.08.006>.
- Crosbie, T., Wright, D. W., Oppedal, F., Johnsen, I. A., Samsing, F. og Dempster, T., 2019. Effects of step salinity gradients on salmon lice larvae behaviour and dispersal. *Aquaculture environment interactions*, vol. 11, pp. 181-190. <https://doi.org/10.3354/aei00303>.
- Crosbie, T., Wright, D. W., Oppedal, F., Dalvin, S., Myksvoll, M. S. og Dempster, T., 2020. Impact of thermoclines on the vertical distribution of salmon lice larvae. *Aquaculture Environment Interactions*, vol. 12: 1-10. <https://doi.org/10.3354/aei00344>.
- Dalvin, S. og Oppedal, F., 2019. Utvikling av lakselus ved ulike temperatur og lys, TEMPLUS. Havforskningsinstituttet, Rapport fra havforskningen 2019-3. Tilgjengelig fra: <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2019-13> (03.04.21)
- Danielsen, T., 2019. Strategi lakselus 2017-19, Enhetlig proaktiv lusestrategi Rogaland. FHF, prosjektnummer 901414, sluttrapport. Tilgjengelig fra: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901414> (20.04.21)

Delfosse, C., Pageat, P., Lafont-Leucelle, C., Asproni, P., Chabaud, C., Cozzi, A. og Bienboire-Frosini, C., 2020. Effect of handling and crowding on the susceptibility of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) to *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) copepodids. Journal of fish diseases, Early View online. <https://doi.org/10.1111/jfd.13286>.

EFSA, 2008. Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed Atlantic salmon. The EFSA journal, 736, 1-31. Tilgjengelig fra: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2008.736> (06.11.20)

Eichner, C., Hamre, L. A. og Nilsen, F., 2015. Instar growth and molt increments in *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) chalimus larvae. Parasitology International, 64, 86-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.parint.2014.10.006>.

Fagerbakke, C., 2020. Dette er trafikkløssystemet. Havforskningsinstituttet. Tilgjengelig fra: <https://www.hi.no/hi/nyheter/2020/februar/trafikklø> (02.04.21)

Felleskatalogen, 2012. Slice vet.. Veterinærkatalogen. Tilgjengelig fra: <https://www.felleskatalogen.no/medisin-vet/slice-vet-msd-animal-health-563986> (23.10.20)

FHF, 2019. Kunnskaps- og erfaringskartlegging om *Caligus elongatus* (skottelus) (KEKS). Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering, prosjektnummer 901539. Tilgjengelig fra: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901539/> (29.09.20)

Fields, D. M., Skiftesvik, A. B. og Browman, H. I., 2017. Behavioural responses of infective-stage copepodids of the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*, Copepoda:Caligidae) to host-related sensory cues. Journal of fish diseases, 41(6). <https://doi.org/10.1111/jfd.12690>.

Fiskeridirektoratet, 2018. Yggdrasil (nettbasert karttjeneste). Kartlag «Flate ihht. Akvakulturreg.». Tilgjengelig fra: <https://yggdrasil.fiskeridir.no/> (08.05.21)

Fiskeridirektoratet, 2021. Kart i Fiskeridirektoratet, Produksjonsområder. Tilgjengelig fra: https://open-data-fiskeridirektoratet-fiskeridir.hub.arcgis.com/datasets/134cdb6728e54b64b32860970a0b50bf_0?geometry=-65.853%2C58.182%2C101.403%2C71.081 (14.05.21)

Frank, K., Gansel, L. og Lien, A. M., 2013. Permaskjørt A3 – fullskala feltforsøk, dokumentasjon av skjørtets påvirkning på vannstrøm. SINTEF, Rapport A24440. Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2465434/A24440%2b-%2bPermaskj%25C3%25B8rt%2bA3%2b-%2bfullskala%2bfeltfors%25C3%25B8k-Kevin%2bFrank.pdf?sequence=2&ogisAllowed=y> (28.11.20)

Frank, K. og Lien, A. M., 2015. Rapport: Permaskjørt og merdmiljø. Tilgjengelig fra: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2448611/A26686-%2bPermaskjort%2bog%2bmerdmiljo-Kevin%2bFrank.pdf?sequence=2&ogisAllowed=y> (03.11.20)

Frenzl, B., Stien, L. H., Cockerill, D., Oppedal, F., Richards, R. H., Shinn, A. P., Bron, J. E. og Migaud, H., 2014. Manipulation of farmed Atlantic salmon swimming behaviour through the adjustment of lighting and feeding regimes as a tool for salmon lice control. *Aquaculture*, 424-425, 183-188. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.012>.

Ge, J., Chen, C., Qi, J., Ding, P. og Beardsley, R. C., 2012. A dike-groyne algorithm in a terrain-following coordinate ocean model (FVCOM): Development, validation and application. *Ocean modelling*, vol. 47, pp. 26-40. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2012.01.006>.

Geitung, L., Oppedal, F., Stien, L. H., Dempster, T., Karlsbakk, E., Nola, V. og Wright, D. W., 2019. Snorkel sea-cage technology decreases salmon louse infestation by 75% in a full-cycle commercial test. *International Journal for Parasitology*, vol. 49, iss. 11, pp. 843-846. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2019.06.003>.

Gentry, K., Bui, S., Oppedal, F. og Dempster, T., 2020. Sea lice prevention strategies affect cleaner fish delousing efficacy in commercial Atlantic salmon sea cages. *Aquaculture Environment Interactions*, vol. 12: 67-80. <https://doi.org/10.3354/aei00348>.

Geonorge, 2020. Norske fylker og kommuner illustrasjonsdata 2020 (klippet etter kyst), Geonorge. Tilgjengelig fra: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/norske-fylker-og-kommuner-illustrasjonsdata-2020-klippet-etter-kyst/7408853f-eb7d-48dd-bb6c-80c7e80f7392> (14.05.21)

Gislason, H., 2017. Statistical modelling of sea lice count data from salmon farms in the Faroe Islands. *Journal of Fish Diseases*, 41(6), 973-993. <https://doi.org/10.1111/jjfd.12742>.

Grimnes, A. og Jakobsen, P. J., 1996. The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon. *Journal of fish biology*, 48, 1179-1194. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb01813.x>.

Grøntvedt, R. N., Kristoffersen, A. B. og Jansen, P. A., 2018. Reduced exposure of farmed salmon to salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* L.) infestation by use of plankton nets:

Estimating the shielding effect. *Aquaculture*, vol. 495, pp. 865-872.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.069>.

Hamre, L. A., Eichner, C., Caipang, C. M. A., Dalvin, S. T., Bron, J. E., Nilsen, F., Boxshall, G. og Skern-Mauritzen, R., 2013. The Salmon Louse *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) Life Cycle Has Only Two Chalimus Stages. *PLoS ONE* 8(9): e73539.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073539>.

Hamre, L. A., Bui, S., Oppedal, F., Mauritzen, R. S. og Dalvin, S., 2019. Development of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* parasitic stages in temperatures ranging from 3 to 24°C. *Aquaculture Environment Interactions*, vol. 11, 429-443.

<https://doi.org/10.3354/aei00320>.

Hansen, H., Bornø, G. og Øines, Ø., 2020. Skottelus - *Caligus elongatus*. Fiskehelsesrapporten 2019, nr. 5a/2020, kapittel 7.2. Tilgjengelig fra: <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2020/fiskehelsesrapporten-2019> (29.09.20)

Hastie, L., Wallace, C., Birkett, M. A. og Douglas, A., 2013. Prevalence and infection intensity of sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) on Atlantic salmon (*Salmo salar*) host is reduced by the non-host compound 2-aminoacetophene. *Aquaculture*, 410-411, 179-183.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.06.035>.

Haugland, G. T., Olsen, A. B., Rønneseth, A. og Andersen, L., 2017. Lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.) develop amoebic gill disease (AGD) after experimental challenge with *Paramoeba perurans* and can transfer amoebae to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, vol. 478, pp. 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.04.001>.

Heggland, E. I., Dondrup, M., Nilsen, F. og Eichner, C., 2020. Host gill attachment causes blood-feeding by the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) chalimus larvae and alters parasite development and transcriptome. *Parasites og Vectors*, 13:225.

<https://doi.org/10.1186/s13071-020-04096-0>.

Helgesen, K. O., Horsberg, T. E. og Tarpai, A., 2020. The surveillance programme for resistance in salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in Norway 2019. Norwegian Food Safety Authorities. Tilgjengelig fra: <https://www.vetinst.no/overvaking/lakselus-resistens> (25.11.20)

Helgesen, K. O. og Qviller, L., 2020. Lakselus - *Lepeophtheirus salmonis*. Fiskehelsesrapporten 2019, nr. 5a/2020, kapittel 7.1. Tilgjengelig fra: <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2020/fiskehelsesrapporten-2019> (29.09.20)

Heuch, P. A., 1995. Experimental evidence for aggregation of salmon louse copepodids (*Lepeophtheirus salmonis*) in step salinity gradients. Journal of the marine biological association of the United Kingdom, vol. 75, iss. 4, pp. 927-939.

<https://doi.org/10.1017/S002531540003825X>.

Heuch, P. A., Parsons, A. og Boxaspen, K., 1995. Diel vertical migration: A possible host-finding mechanism in salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) copepodids? Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, vol. 52, No. 4. <https://doi.org/10.1139/f95-069>.

Heuch, P. A. og Schram, T. A., 1999. Crustacea (krepsdyr), i Poppe, T. *Fiskehelse og fisksykdommer*, s. 219-228. Universitetsforlaget, Oslo.

Heuch, P. A., Nordhagen, J. R. og Schram, T. A., 2000. Egg production in the salmon louse [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] in relation to origin and water temperature. Aquaculture research, vol. 31(11), 805-814. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2000.00512.x>.

Hevrøy, E. M., Boxaspen, K., Oppedal, F., Taranger, G. L. og Holm, J. C., 2003. The effect of artificial light treatment and depth on the infestation of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) culture. Aquaculture, 220, 1-14.

[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00189-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00189-8).

HI, 2018. Resistens hos lakselus. Tilgjengelig fra:

<https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus/resistens-hos-lakselus> (25.11.20)

Hovland, E., ukjent. Band 5: Havbruk. Norges Fiskeri- og Kysthistorie. Tilgjengelig fra:

<https://norges-fiskeri-og-kysthistorie.w.uib.no/bokverket/bind-5-havbrukshistorie/> (01.04.21)

Holan, A. B., Roth, B., Breiland, M. S. W., Kolarevic, J., Hansen, Ø. J., Iversen, A., Hermansen, Ø., Gjerde, B., Hatlen, B., Mortensen, A., Lein, I., Johansen, L. H., Noble, C., Gismervik, K. og Espmark, Å. M., 2017. Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI). Nofima, rapport 10/2017. Tilgjengelig fra:

<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901296/> (28.10.20)

Huse, I. og Holm, J. C., 1993. Vertical distribution of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as a function of illumination. Journal of fish biology, vol. 43 (Supplement A), 147-156.

<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1993.tb01184.x>.

Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R., Hess, E. J., Rolland, K. H., Garsohl, L. D. og Marthinussen, A., 2019. Kostnadsutvikling og forståelse av drivkrefter i norsk lakseoppdrett.

Faglig sluttrapport. Nofima, rapport 35/2019. Tilgjengelig fra:

<https://nofima.no/publikasjon/1757670/> (28.09.2020)

Jansen, P. A., Kristoffersen, A. B., Viljugrein, H., Jimenez, D., Aldrin, M. og Stien, A., 2012.

Sea lice as a density-dependent constraint to salmonid farming. *Proceedings of the Royal Society B*, 279, 2330-2338. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0084>.

Jaworski, A. og Holm, J. C., 1992. Distribution and structure of the population of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* Krøyer, on Atlantic salmon, *Salmo salar* L., under typical rearing conditions. *Aquaculture and fisheries management*, vol. 23, pp. 577-589.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1992.tb00802.x>.

Jensen, L. B., Provan, F., Larssen, E., Bron, J. E. og Obach, A., 2014. Reducing sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestation of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) through functional feeds. *Aquaculture nutrition*, vol. 21, iss. 6, pp. 983-993.

<https://doi.org/10.1111/anu.12222>.

Jensen, Ø., 2006. Faglig underlag for krav til flytende oppdrettsanlegg – NS 9415,

Oppsummeringsrapport. SINTEF, rapportnummer SFH80 A064061. Tilgjengelig fra:

<https://tekmar.no/wp-content/uploads/2016/08/Faglig-underlag-NS-9415-Oppsummering-SFH80-A064061.pdf> (10.05.21)

Jensen, Ø. og Lien, E., 2005. Miljøkriterier på lokalitet. SINTEF, rapportnummer SFH80

A064058. Tilgjengelig fra: <https://tekmar.no/wp-content/uploads/2016/08/Faglig-underlag-NS-9415-Milj%c3%b8Kriterier-p%c3%a5-lokalitet-SFH80-A064058.pdf> (10.05.21)

Johnsen, I. A., Asplin, L. C., Sandvik, A. D. og Serra-Llinares, R. M., 2016. Salmon lice dispersion in a northern Norwegian fjord system and the impact of vertical movements.

Aquaculture Environment Interactions, vol. 8, pp. 99-116. <https://doi.org/10.3354/aei00162>.

Jónsdóttir, K. E., Volent, Z. og Alfredsen, J. A., 2021. Current flow and dissolved oxygen in a full-scale stocked fish-cage with and without lice shielding skirts. *Applied Ocean Research*, vol. 108. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102509>.

Karlsen, R., 2016. Presentasjon: Erfaringer fra bruk av luseskjørt i Finnmark. Fiskeri- og Havbruksnæringens forskningsfinansiering. Tilgjengelig fra:

<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901211/> (03.11.20)

Kristoffersen, A. B., Jimenez, D., Viljugrein, H., Grøntvedt, R., Stien, A. og Jansen, P. A., 2014. Large scale modelling of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infection pressure

based on lice monitoring data from Norwegian salmonid farms. *Epidemics*, 9, 31-39.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.epidem.2014.09.007>.

Klebert, P. og Su, B., 2020. Turbulence and flow field alterations inside a fish sea cage and its wake. *Applied Ocean Research*, vol. 98. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102113>.

Krkošek, M., Bateman, A., Proboszcz, S. og Orr, C., 2010. Dynamics of outbreak and control of salmon lice on two salmon farms in the Broughton Archipelago, British Columbia.

Aquaculture Environment Interactions, vol. 1, pp. 137-146. <https://doi.org/10.3354/aei00013>.

KSS, ukjent. Om Norsk Klimaservicesenter, KSS. Tilgjengelig fra:

<https://klimaservicesenter.no/kss/om-oss/om-kss> (08.04.21).

Lees, F., Baillie, M., Gettinby, G. og Revie, C. W., 2008. The Efficacy of Emamectin Benzoate against infestations of *Lepeophtheirus salmonis* on farmed Atlantic salmon (*Salmo salar L*) in Scotland, 2002-2006. *PlosOne*, 3(2): e1549.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001549>.

Lien, A. M., Sunde, L. M. og Bekkevoll, A., 2016. Rapport, Seminar: Luseskjørt og snorkelmerd. Sintef, A27738. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/siste-nytt-om-luseskjort-og-snorkelmerd/> (03.11.20).

Lien, A. M. og Volent, Z., 2012. Deformasjon av not og permaskjørt og krefter på fortøyning. Sintef, A23184. Tilgjengelig fra: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2473757> (03.11.20)

Ljungfeldt, L. E. R., Quintela, M., Besnier, F., Nilsen, F og Glover, K. A., 2016. A pedigree-based experiment reveals variation in salinity and thermal tolerance in the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis*. *Evolutionary Applications* 10(10).

<https://doi.org/10.1111/eva.12505>.

Lusedata.no, 2020. Lusedata i Excel. Basert på datamateriale fra Mattilsynet. Tilgjengelig fra: <https://lusedata.no/statistikk/excel/> (13.10.20)

Mattilsynet, 2010. Luseforskriften: Forskriftsveileder for akvakulturnæringen, 2009-08-18 nr 1095 om bekjempelse av lus i akvakulturanlegg (luseforskriften). Tilgjengelig fra:

http://classic.vitaminw.no/kunde/botngaard/FilVedlegg/Veileder_til_akvakultuneringen.pdf (01.04.21)

Mattilsynet, 2019. Termisk avlusning: Fiskevelferd, forskning og avklaring fra Mattilsynet.

Tilgjengelig fra:

https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/termisk_avlusing_fiskevelferd_forskning_og_avklaring_fra_mattilsynet.34470 (27.10.20)

Mattilsynet, 2021. Mattilsynet forventer mer forebygging og mer skånsom behandling mot lakselus. Tilgjengelig fra:

https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/mattilsynet_forventer_mer_forebygging_og_mer_skaansom_behandling_mot_lakselus.42755 (14.05.21)

MEDML, 2013. The Unstructured Grid Finite Volume Community Ocean Model (FVCOM). The Marine Ecosystem Dynamics Modeling Laboratory (MEDML). Tilgjengelig fra:

<http://fvcom.smast.umassd.edu/fvcom/> (08.05.21)

Misund, B., 2021. Fiskeoppdrett. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra:

<https://snl.no/fiskeoppdrett> (01.04.21)

NASA, ukjent, a. Earth Data Search (krever innlogging). Tilgjengelig fra:

<https://search.earthdata.nasa.gov/search> (08.05.21)

NASA, ukjent, b. Earth Data Search, fil:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180610T155034_20180610T155059_011313_014C58_42FD. Se appendiks 2 for ytterligere informasjon om filen og radarbildet brukt. Tilgjengelig fra:

<https://search.earthdata.nasa.gov/search> (08.05.21)

Nilsson, J., Stien, L. og Oppedal, F., 2017. Environment, lice levels, welfare and salmon swim depth at Kobbavika site with surface or deep feeding combined with artificial light. Havforskningsinstituttet, rapport nr. 35-2017. Tilgjengelig fra:

https://www.hi.no/resources/publikasjoner/rapport-fra-havforskningen/2017/kobbavika2015g_imr_rapport_fra_havforskningen_en_21122017.pdf
(29.10.20)

NIVA, 2015. Modelling. Tilgjengelig fra:

<https://www.niva.no/en/research/oceanography/infrastructure/modelling> (08.05.21)

Novo, P. G. og Kyozyuka, Y., 2020. Validation of turbulence numerical 3D model for an open channel with strong tidal currents. Renewable energy, vol. 162, pp. 993-1004.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.035>.

Næs, M., Heuch, P. A. og Mathisen, R., 2012. Bruk av «luseskjørt» for å redusere påslag lakselus *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) på oppdrettslaks. Norwegian Centres of Expertise

NCE Aquaculture. Tilgjengelig fra: <https://lusedata.no/wp-content/uploads/2012/09/Bruk-av-luseskj%c3%b8rt-for-%c3%a5-redusere-p%c3%a5slag-av-lakselus-Lepeophtheirus-salmonis-Kr%c3%b8yer-p%c3%a5-oppdrettslaks-2.pdf> (03.11.20).

Næs, M., Grøntvedt, R. N., Kristoffersen, A. B. og Johansen, B., 2014. Feltutprøving av planktonduk som skjerming rundt oppdrettsmerder for å redusere påslag av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*). Faglig rapport 4. mars 2014. Tilgjengelig fra: <http://multiconsult.eurest.no/layout/set/print/content/download/12786/155841/file/Rapport%20feltutpr%C3%B8ving%20av%20planktonduk%20mot%20lus.pdf> (03.11.20)

O'Shea, B., Wadsworth, S., Marambio, J. P., Birkett, M. A., Pickett, J. A. og Luntz, M. Aj., 2016. Disruption of host-seeking behaviour by the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis*, using botanically derived repellents. *Journal of fish diseases*, 40(4), 495-505. <https://doi.org/10.1111/jfd.12526>.

Oppedal, F., Samsing, F., Dempster, T., Wright, D. W., Bui, S. og Stien, L. H., 2017. Sea lice infestation levels decreased with deeper 'snorkel' barriers in Atlantic salmon sea-cages. *Pest Management Science*, vol. 73, iss. 9, pp. 1935-1943. <https://doi.org/10.1002/ps.4560>.

Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Gismervik, K. og Stien, L. H., 2019. Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11, 1398-1417. <https://doi.org/10.1111/raq.12299>.

Overton, K., Barrett, L. T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S. og Dempster, T., 2020a. Sea lice removal by cleaner fish in salmon aquaculture: a review of the evidence base. *Aquaculture environment interactions*, vol. 12, pp. 31-44. <https://doi.org/10.3354/aei00345>.

Overton, K., Barrett, L. T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S. og Dempster, T., 2020b. Sea lice removal by cleaner fish in salmon aquaculture: a review of the evidence base, supplementary material. Available from: http://www.int-res.com/articles/suppl/q012p031_supp.pdf (28.10.20)

Paulsen, N., 2018. Skottelus (*Caligus elongatus*), en litteraturgjennomgang. Masteravhandling, Universitetet i Bergen. Tilgjengelig fra: <http://bora.uib.no/handle/1956/20876> (29.09.20)

Remen, M., Sievers, M., Torgersen, T. og Oppedal, F., 2016. The oxygen threshold for maximal feed intake of Atlantic salmon post-smolts is highly temperature-dependent. *Aquaculture*, vol. 464, pp. 582-592. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.07.037>.

Revie, C. W., Gettinby, G., Treasurer, J. W. og Rae, G. H., 2002. The epidemiology of the sea lice, *Caligus elongatus* Nordmann, in marine aquaculture of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Scotland. *Journal of Fish Diseases*, 25, 391-399. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.2002.00388.x>.

Revie, C., Dill, L., Finstad, B. og Todd, C. D., 2009. Sea lice working group report. NINA special report 39, pp. 48. Available from: <https://www.nina.no/archive/nina/PppbasePdf/temahefte/039.pdf>.

Robledo, D., Gutierrez, A. P., Barria, A., Lhorente, J. P., Houston, R. D. og Yanez, J. M., 2019. Discovery and functional annotation of quantitative trait loci affecting resistance to sea lice in Atlantic salmon. *Frontiers in genetics*, vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00056>.

Samsing, F., Oppedal, F., Dalvin, S., Johnsen, I., Vågseth, T. og Dempster, T., 2016. Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) development times, body size, and reproductive outputs follow universal models of temperature dependence. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, vol. 73, no. 12. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2016-0050>.

Schram, T. A., 1993. Supplementary descriptions of the developmental stages of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837) (Copepoda: Caligidae), i Boxshall, G. A. og Defaye, D. *Pathogens of wild and farmed fish: sea lice*, chapter 3. Ellis og Horwood Ltd., Chichester, pp. 30-47. Tilgjengelig fra: https://books.google.no/books?id=e9KP0mkBuTACoghl=noogsource=gb_s_navlinks_s (10.11.20)

Schram, T. A., 2000. The egg string attachment mechanism in salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). *Contributions to Zoology*, 69 (1/2), 21-29. <https://doi.org/10.1163/18759866-0690102002>.

Seter, K., 2020. Beauforts vindskala. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/Beauforts_vindskala (10.04.21)

Sjømat Norge, 2020. Tiltaksveileder, kontroll med lakselus og skottelus. Tilgjengelig fra: <https://lusedata.no/wp-content/uploads/2020/01/2120.01.20-Tiltaksveileder-Lakselus-og-skottelus.pdf> (25.11.20)

Skern-Mauritzen, R., Torrissen, O. og Glover, K. A., 2014. Pacific and Atlantic *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1838) are allopatric subspecies: *Lepeophtheirus salmonis*

salmonis and *L. salmonis oncorhynchi* subspecies novo. BMC Genetics, 15, Article no. 32.

Tilgjengelig fra: <https://link.springer.com/article/10.1186/1471-2156-15-32> (03.04.21)

Smir.no, Hydrolicer. Skånsom avlusning - Hydrolicer. Produktinformasjon om Hydrolicer.

Tilgjengelig fra: <https://smir.no/produkter/hydrolicer/> (27.10.20)

Solberg, M. F., Skaala, Ø., Nilsen, F. og Glover, K. A., 2013. Does domestication cause changes in growth reaction norms? A study of farmed, wild and hybrid Atlantic salmon families exposed to environmental stress. PLoS ONE 8(1): e54469.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054469>.

Soltveit, T., 2018a. Lanserer ny versjon av strømgjerdet SPG. Kyst.no. Tilgjengelig fra:

<https://www.kyst.no/article/lanserer-ny-versjon-av-stroemgjerdet-spg/> (30.10.20)

Soltveit, T., 2018b. -Fornøyd med fremdriften. Kyst.no. Tilgjengelig fra:

<https://www.kyst.no/article/fornoyd-med-fremdriften/> (30.10.20)

SSB, 2021a. Nasjonalregnskap og konjunkturer, Eksport og import. Statistisk sentralbyrå.

Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/faktaside> (01.04.21)

SSB, 2021b. Statistikkbanken, Utenrikshandel med varer, Tabell 09283: Eksport av fisk, etter varegruppe, statistikkvariabel og år. Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra:

<https://www.ssb.no/statbank/table/09283/tableViewLayout1/> (01.04.21)

Statens legemiddelkontroll, 2020. Terapi anbefaling: Behandling mot lakselus i oppdrettsanlegg. SLK-publikasjon 2000:02. Tilgjengelig fra:

<https://legemiddelverket.no/Documents/Veterin%C3%A6rmedisin/Terapi%20anbefalinger/Behandling%20mot%20lakselus%20i%20oppdrettsanlegg.pdf> (20.10.2020)

Steinset. T. A., 2017. Frå attåtnering til milliardindustri. Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig

fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/fra-attatnaering-til-milliardindustri> (01.04.21)

Stien, L. H., Nilsson, J., Hevrøy, E. M., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Lien, A. M. og Folkedal, O., 2012. Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. Aquaculture Engineering, vol. 51, pp. 21-25.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.06.002>.

Stien, L. H., Dempster, T., Bui, S., Glaropoulos, A., Fosseidengen, J. E., Wright, D. W. og Oppedal, F., 2016. 'Snorkel' sea lice barrier technology reduces sea lice loads on harvest-

sized Atlantic salmon with minimal welfare impacts. *Aquaculture*, vol. 458, pp. 29-37.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.014>.

Stien, L. H., Lind, M. B., Oppedal, F., Wright, D. W. og Seternes, T., 2018. Skirts on salmon production cages reduced salmon lice infestations without affecting fish welfare. *Aquaculture* 490, 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.02.045>.

Stone, J., Sutherland, I. H., Sommerville, C., Richards, R. H. og Endris, R. G., 2000a. The duration of efficacy following oral treatment with emamectin benzoate against infestations of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer), in Atlantic salmon *Salmo salar* L.. *Journal of Fish Diseases*, 23, 185-192. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.2000.00233.x>.

Stone, J., Sutherland, I. H., Sommerville, C., Richards, R. H. og Varma, K. J., 2000b. Commercial trials using emamectin benzoate to control sea lice *Lepeophtheirus salmonis* infestations in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of aquatic organisms*, 41, 141-149. <https://doi.org/10.3354/dao041141>.

Stone, J., Sutherland, I. H., Sommerville, C., Richards, R. H. og Varma, K. J., 2000c. Field trials to evaluate the efficacy of emamectin benzoate in the control of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) and *Caligus elongatus* Nordmann, infestations in Atlantic salmon *Salmo salar* L.. *Aquaculture*, 186, 205-219. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00374-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00374-9).

Thompson, C. R. S., Fields, D. M., Bjelland, R. M., Chan, V. B. S., Durif, C. M. F., Mount, A., Runge, J. A., Shema, S. D., Skiftesvik, A. B. og Browman, H. I., 2019. The planktonic stages of the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) are tolerant of end-of-century pCO₂ concentrations. *PeerJ*, 7: e7810. <https://doi.org/10.7717/peerj.7810>.

Torrissen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skillebrei, O. T., Nilsen, F., Horsberg, T. E. og Jackson, D., 2013. Salmon lice - impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, vol. 36, iss. 3, 171-194. <https://doi.org/10.1111/jfd.12061>.

Tucker, C. S., Sommerville, C. og Wootten, R., 2002. Does size really matter? Effects of fish surface area on the settlement and initial survival of *Lepeophtheirus salmonis*, an ectoparasite of Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of Aquatic Organisms*, vol. 49, pp. 145-152. <https://doi.org/10.3354/dao049145>.

Tully, O og Whelan, K. F., 1993. Production of nauplii of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) (Copepoda: Caligidae) from farmed and wild salmon and its relation to the infestation of wild

sea trout (*Salmo trutta L.*) off the west coast of Ireland in 1991. Fisheries Research, 17, 187-200. [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(93\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0165-7836(93)90018-3).

Veterinærinstituttet, 2017. Mekanisk avlusing med FLS-avlusersystem - dokumentasjon av fiskevelferd og effekt mot lus. Rapport 6 - 2017. Tilgjengelig fra:

<https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2017/mechanisk-avlusing-dokumentasjon-av-fiskevelferd-og-effekt-mot-lus> (27.10.20)

Veterinærinstituttet, ukjent. Lusekart. Tilgjengelig fra: <http://apps.vetinst.no/lusekart/> (25.04.21)

Waldman, S., Yamaguchi, S., Murray, R. O. og Woolf, D., 2017. Tidal resource and interaction between multiple channels in the Goto Islands, Japan. International Journal of Marine Energy, vol. 19, pp. 332-344. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2017.09.002>.

Wright, D. W., Stien, L. H., Dempster, T., Vågseth, T., Nola, V., Fosseidengen, J.-E. og Oppedal, F., 2017. 'Snorkel' lice barrier technology reduced two co-occurring parasites, the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) and the amoebic gill diseases causing agent (*Neoparamoeba perurans*), in commercial salmon sea-cages. Preventive Veterinary Medicine, vol. 140, pp. 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.03.002>.

Zhang, A. og Wei, E., 2007. Delaware River and Bay Hydrodynamic Simulations with FVCOM. 10th International Conference on Estuarine and Coastal Modelling. [https://doi.org/10.1061/40990\(324\)2](https://doi.org/10.1061/40990(324)2).

Vedlegg

Appendiks 1 – Rensing av produksjons og modelldata

Produksjonsdata

Toknebuktneset, Storholmen og Olderfjord

Toknebuktneset fikk fisk overført fra Olderfjord og Storholmen mellom 15-19 januar 2019. All data for denne fisken, fra utsett til slakting, ble registrert hos Toknebuktneset. Dermed måtte data for denne fisken registreres hos henholdsvis Olderfjord og Storholmen, ettersom hvor den kom fra, for hele 2018. Siden fiskegruppen fra en merd ble fordelt over to merder ved ankomst hos Toknebuktneset var også antallet fisk i merdene feil og antall fisk i de to fordelte merdene måtte summeres for å få korrekt antall i den opprinnelige merden fisken kom fra før den ankom Toknebuktneset. Det ble også gjort flere interne flyttinger og splittelser av fiskegrupper hos både Storholmen og Olderfjord.

StorholmenG17

Endrer StorholmenG17 – Hopen 17-01 fisk registrert i merd 07 er egentlig merd 04 frem til og med uke 47. Endrer betegnelsen «07» til «04». Dette er gjort fra og med uke 1 2018 til lusetellingen 28. nov 2018.

Endrer StorholmenG17 – M05 endres til M10 i perioden før intern flytting, fra og med uke 1 2018 til og med uke 47.

Endrer StorholmenG17 – Henter data fra M02 (og M03) fra Toknebuktneset fra uke 1 2018 til og med uke 47. Disse to merdene utgjør ny manuelt registrert M05 ved Storholmen. Antall fisk er summert fra de to Toknebukt-merdene.

Endrer StorholmenG17 – Henter data fra M04 (og M05) fra Toknebuktneset fra uke 1 2018 til og med uke 47. Disse to merdene utgjør ny manuelt registrert M11 ved Storholmen. Antall fisk er summert fra de to Toknebukt-merdene.

Endrer StorholmenG17 – Henter data fra M02 (og M03) fra Toknebuktneset fra og med uke 48 2018, til og med uke 52 2018. Disse to merdene utgjør ny manuelt registrert M04 ved Storholmen. Antall fisk er summert fra de to Toknebukt-merdene.

Endrer StorholmenG17 – Henter data fra M04 (og M05) fra Toknebuktneiset fra og med uke 48 2018, til og med uke 52 2018. Disse to merdene utgjør ny manuelt registrert M10 ved Storholmen. Antall fisk er summert fra de to Toknebukt-merdene.

Storholmen er nå i orden.

OlderfjordG17

Endrer OlderfjordG17 – M01 er egentlig M04 fra utsett til 1 september 2018. Antall fisk må imidlertid summeres, dette siden et visst antall fisk ble slaktet fra M04 like etter flyttingen og dermed er ført som M04 hele livet. Summerer antall fisk i M01 og M04, og sletter M01 fra uke 1 2018 og opp til flyttingen som skjer 1 september 2018.

Endrer OlderfjordG17 – Henter data fra M01 (og M12) fra Toknebuktneiset fra og med uke 1 2018 til og med uke 52 2018. Disse to merdene utgjør ny manuelt registrert M07 ved Olderfjord. Antall fisk er summert fra de to Toknebukt-merdene.

Endrer OlderfjordG17 – Henter data fra M08 (og M09) fra Toknebuktneiset fra og med uke 1 2018 til og med uke 52 2018. Disse to merdene utgjør ny manuelt registrert M10 ved Olderfjord. Antall fisk er summert fra de to Toknebukt-merdene.

Endrer OlderfjordG17 – Henter data fra M10 (og M11) fra Toknebuktneiset fra og med uke 1 2018 til og med uke 45 2018. Disse to merdene utgjør ny manuelt registrert M11 ved Olderfjord. Antall fisk er summert fra de to Toknebukt-merdene.

Endrer OlderfjordG17 – Henter data fra M10 (og M11) fra Toknebuktneiset fra og med uke 46 2018 til og med uke 52 2018. Disse to merdene utgjør ny manuelt registrert M04 ved Olderfjord. Antall fisk er summert fra de to Toknebukt-merdene.

Olderfjord er nå i orden.

ToknebuktneisetG17

Endrer ToknebuktneisetG17 – Sletter alle registreringer av fiskegruppene «Hopen 17-01», «Hopen 17-04» og «Forsan 17-05». Denne fisken ankom ikke lokaliteten før i 2019.

Toknebuktneiset er nå i orden.

Eidsnes og Tuvan

Fisk ble flyttet fra Eidsnes til Tuvan i uke 43 2018. Data for denne fisken måtte hentes fra Tuvan og registreres hos Eidsnes frem til flyttingen fant sted. I tillegg ble det gjort interne splittings av fiskegrupper hos begge lokalitetene.

EidsnesG18

Endrer EidsnesG18 – Henter data fra M03 fra Tuvan fra og med utsett til og med uke 42. Denne merden utgjør ny manuelt registrert M01 ved Eidsnes. Antall fisk summeres med «Forsan» fisk fra M02 ved Tuvan på grunn av en splittelse av M02 ved Tuvan i 2019 (Se også notat for Tuvan).

Endrer EidsnesG18 – Slår sammen M02 og M03 til ny manuelt registrert M04. Antall fisk summeres, alle andre registreringer er identiske for gammel M02 og M03. Dette skyldes splitting av M04 i 2019.

Endrer EidsnesG18 – Slår sammen M01 og M04 til ny manuelt registrert M05. Antall fisk summeres, alle andre registreringer er identiske for gammel M01 og M04. Dette skyldes splitting av M05 i 2019.

Eidsnes er nå i orden.

TuvanG18

Endrer TuvanG18 – Fjerner alle registreringer for M03 i perioden fra utsett til og med uke 42. Fisken ankommer ikke Tuvan før i uke 43.

Endrer TuvanG18 – «Forsan» fisk registrert i M02 er egentlig M03 fra utsett og ut 2018. Summerer antall fisk fra M02 til M03 og sletter M02 registreringene med «Forsan» fisk. Dette fordi M03 splittes til M03 og M02 i 2019.

Endrer TuvanG18 – Trekker fra 5500 fisk fra alle registreringer for M04 og legger til 5500 fisk for alle registreringer ved M02. Dette på grunn av en flytting i forbindelse med utslakting av M04 i 2019.

Tuvan er nå i orden.

Enkeneset

Ved enkeneset ble det gjort intern flytting av fire merder, en av disse ble også splittet til to merder i forbindelse med en avlusning.

Endrer EnkenesetG17 – Fra og med uke 1 2018 til og med uke 38 2018 gjøres følgende endringer: M01 => M10, M02=> M09, M03 => M08. Dette gjøres imidlertid ikke for M01 og M02 som er registrerte med «Forsan 17-4» og «Forsan 17-3» fisk da disse er korrekte i perioden.

Endrer EnkenesetG17 – Fra og med uke 1 2018 til og med uke 38 2018 summeres antall fisk fra M09 til M08. Bytter også betegnelsen fra M08 til M07 da M07 ble splittet til disse to merdene i uke 39.

Enkeneset er nå i orden.

Rivarbukt

Endrer RivarbuktG18 – Alle M06 registreringer er egentlig M05 ut 2018. Summerer antall fisk fra M06 til M05 og sletter alle M06 registreringer. Dette skyldes en splittelse av merden i august 2019.

Noterer også at det gjøres en telling av fisk den 8 desember 2018 som fører til en plutselig økning i antall fisk. Mistenker at dette kan skyldes flytting fra M04 som opplever et stort fall i antall fisk samtidig.

Rivarbukt er nå i orden.

Kråkevik

Endrer KråkevikG17 – Fra og med uke 1 2018 til og med uke 31 2018 summeres antall fisk fra M06 til M08, og fra M05 til M09. Dette skyldes en splittelse av merdene i august 2018.

Kråkevik er nå i orden.

FVCOM-data

Merk at alle klokkeslett er rundet av til nærmeste time, i realiteten var de innenfor +/- 3 minutter av det oppgitte tidspunktet.

TempSal0DAIT, temperatur (609 0-verdier):

Tilfeller samme dag: 20.07.18 (3), 23.08.18 (3), 28.08.18 (2).

Tilfeller rett etter hverandre: 20.07.18 (04:00 og 06:00), 23.08.18 (15:00 og 17:00), 28.08.18 (21:00 og 23:00).

TempSal0DAIT, salinitet (609 0-verdier):

Tilfeller samme dag: 18.07.18 (2), 23.08.18 (3), 28.08.18 (2).

Tilfeller rett etter hverandre: 18.07.18 (20:00 og 23:00), 23.08.18 (15:00 og 17:00), 28.08.18 (21:00 og 23:00).

TempSal1DAIT, temperatur (638 0-verdier):

Tilfeller samme dag: 20.07.18 (3), 28.07.18 (2), 28.08.18 (3).

Tilfeller rett etter hverandre: 20.07.18 (04:00 og 06:00), 28.07.18 (10:00 og 12:00), 28.08.18 (21:00 og 23:00).

TempSal1DAIT, salinitet (581 0-verdier):

Tilfeller samme dag: 20.07.18 (2), 28.07.18 (2), 01.08.18 (2), 20.08.18 (2).

Tilfeller rett etter hverandre: 20.08.18 (11:00 og 14:00).

u0DAIT (21 0-verdier)

Alle samme dag og samme tidspunkt (en per lokalitet), 28.08.2018 kl. 17.

u1DAIT (339 0-verdier)

Tilfeller samme dag: 16.06.18 (2), 23.08.18 (2), 28.08.18 (2, kun noen lokaliteter).

Tilfeller rett etter hverandre: 16.06.18 (12:00 og 14:00), 28.08.18 (21:00 og 23:00, kun noen lokaliteter).

v0DallT (546 0-verdier)

Tilfeller samme dag: 16.06.18 (2), 23.08.18 (3), 26.08.18 (2).

Tilfeller rett etter hverandre: 23.08.18 (15:00 og 17:00), 26.08.18 (17:00 og 18:00).

v1DallT (596 0-verdier)

Tilfeller samme dag: 12.06.18 (2, kun noen lokaliteter), 02.07.18 (2), 18.07.18 (2), 20.07.18 (2), 28.07.18 (4, varierende tidspunkt for ulike lokaliteter), 23.08.18 (3, de fleste lokalitetene manglet kun 2), 26.08.18 (2).

Tilfeller rett etter hverandre: 28.07.18 (12:00 og 15:00, kun noen lokaliteter), 23.08.18 (15:00 og 17:00, for 5 lokaliteter), 26.08.18 (17:00 og 19:00).

Appendiks 2 – Satellittbilder brukt for lokalitetsvurdering

I tillegg til bildene som er nevnt er det også undersøkt en rekke andre bilder av varierende kvalitet. Noen av disse, selv om de ikke er nevnt har naturlig nok også vært en del av beslutningsprosessen. I mange tilfeller er bilder nevnt i forbindelse med en lokalitet også brukt til å bekrefte forhold ved andre lokaliteter. Teksten for hver lokalitet er skrevet i notatform under arbeidet med filene.

Alle er tilgjengelig for nedlastning gjennom NASAs' «*Earth Data Search*» (NASA, ukjent, a). Dersom disse lastes ned for etterprøving er det .tiff-filene i mappen «*measurements*» som er brukt. «vh» og «vv» angir hvilken av de to .tiff-filene som er vektlagt tyngst, disse representerer ulike polariseringsmetoder for radaren som er brukt til å generere filene. Navnene på bildene, slik de er gitt under, er navnet på filen som er lastet ned, S1A/S1B indikerer hvilken satellitt som har tatt bildet (Sentinel 1A, eller 1B).

Enkeneset

Merd 6 antas å ikke være ved lokaliteten i perioden. Alle andre antas å være der. Merd 2 slaktes ut den 25. juni, merdene 1, 2 og 3 tas i bruk 19. september. Det antas at noten og evt. Luseskjørt er fjernet innen lusetelling 3 juli (U27) etter utslakting i merd 2 (påvirker ikke infeksjonsvindu). Det skjer ingen andre større operasjoner (avlusninger ol.) i perioden slik jeg kan se det. For merd 1 og 3 antas det at disse i studieperioden ikke har not eller luseskjørt.

Enkeneset, 19.06.18 (U25), mangler merd i bur 6. Bilde brukt: vh og vv. Filnavn:
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180619T045529_20180619T045554_022421_026D9C_A398

Enkeneset, 21.08.18 (U34), kan se ut som det mangler i bur 6, litt vanskelig å se. Bilde brukt:
vh. Filnavn:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180821T155038_20180821T155103_012363_016CAC_8AB9

Enkeneset 24.08.18 (U34), mangler merd i bur 6. Bilde brukt: vh og vv. Filnavn:
S1B_IW_GRDH_1SDV_20180824T045440_20180824T045505_012400_016DC5_C785

Enkeneset, 08.09.18 (U36), kan se ut som det mangler i bur 6, vanskelig å se. Bilde brukt: vh.
Filnavn:

S1A_IW_GRDH_1SDV_20180908T155135_20180908T155200_023609_029281_4B8E

Olderfjord

Produksjon i merdene 2-5 og 7-11. Fisk flyttes fra merd 4 til 1 den 1. september (lørdag U35) i forbindelse med avlusning. Av satellittfoto har denne mest sannsynligvis ligget her hele tiden, men det antas at denne ikke har not eller luseskjørt i undersøkt periode (U23-U33). Merd 6 og 12 brukes ikke i perioden. Siden merd 6 ikke er mistenkt «MIA» av satellittfoto antas det at den ligger der, men uten not og luseskjørt. Merd 12 antas å ikke være til stede.

Olderfjord, 10.06.18 (U23), mangler merd i bur 12, alle andre er relativt tydelige med unntak av bur 8 (hvor det er produksjon). Bilde: vv. Filnavn:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180610T155034_20180610T155059_011313_014C58_42FD

Olderfjord, 19.06.18 (U25), mangler merd i bur 12. Bilde brukt: vh og vv. Filnavn:

S1A_IW_GRDH_1SDV_20180619T045529_20180619T045554_022421_026D9C_A398.

Olderfjord, 23.08.18 (U34), mangler i bur 12, kanskje også bur 1 (veldig vanskelig, kan også se ut som det er noe der). Bilde brukt: vv. Filnavn:

S1A_IW_GRDH_1SDV_20180823T050339_20180823T050404_023369_028AD4_827E

Nordnes

Nordnes har produksjon i alle merder hele perioden. Alle er der hele tiden.

Sommarbukt

Utsett i merdene 1-3 og 10-12 den 12. juni. Ingen andre merder er i bruk (sjekket ut oktober). Med bakgrunn i bildene 10.06.18 og 19.06.18 antas det at det ikke er en merd i bur 5 i den undersøkte perioden.

Sommarbukt, 10.06.18(U23), ser ut som det mangler merd i bur 5. Bilde: vv. Filnavn:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180610T155034_20180610T155059_011313_014C58_42FD

Sommarbukt, 19.06.18 (U25), ser ut som det kan mangle en merd på ytterrekke (bur 5).

Vanskelig å se. Bilde brukt: vh og vv. Filnavn:

S1A_IW_GRDH_1SDV_20180619T045529_20180619T045554_022421_026D9C_A398

Sommarbukt, 21.08.18 (U34), ser ut som alle 12 er der. Bilde: vh. Filnavn:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180821T155038_20180821T155103_012363_016CAC_8AB9

Tuvan

Det er antatt at alle 5 merder er der hele tiden. En rekke bilder i august og september ble undersøkte men de var for vanskelige å tolke, det er mulig at merd 3 på et tidspunkt fjernes. Det skjer en flytting fra Eidsnes til Tuvan bur 3 den 18. oktober, om det skjer med brønnbåt eller om merden slepes fra Eidsnes er uvisst. Om fisken flyttes med brønnbåt kan det antas at det er en merd der. Om den slepes mellom lokalitetene er det ikke en merd i buret før ny ankommer. Konsekvensen er imidlertid relativt liten siden merd 3 er en «innesluttet» merd og har liten effekt på eksponeringen til de andre merdene.

Tuvan, 10.06.18 (U23), kan tydelig se alle 5 merder. Bilde: vv. Filnavn:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180610T155034_20180610T155059_011313_014C58_42FD

Tuvan, 19.06.18 (U25), ser ut som alle merder er til stede (5), men ganske vanskelig å se.

Bilde brukt: vh og vv. Filnavn:

S1A_IW_GRDH_1SDV_20180619T045529_20180619T045554_022421_026D9C_A398

Tuvan, 21.08.18 (U34), ser ut som det kan mangle merd i bur 3. Bilde: vh. Filnavn:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180821T155038_20180821T155103_012363_016CAC_8AB9

Storholmen

Produksjon i merdene 1-5 og 7-11 hele perioden, 12 ikke i bruk, 6 blir brukt en liten periode i forbindelse med en avlusning i starten av september. Antar at alle merder er til stede hele perioden men at 6 og 12 ikke har not eller skjørt. Bur 6 og 12 er vanskelige å vurdere, men det later til at det konsekvent er noe der.

Storholmen, 10.06.18 (U23), alle merder godt synlige. Bilde: vv. Filnavn:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180610T155034_20180610T155059_011313_014C58_42FD

Storholmen, 19.06.18 (U25), alle merder (12) til stede. Bilde brukt: vh og vv. Filnavn:

S1A_IW_GRDH_1SDV_20180619T045529_20180619T045554_022421_026D9C_A398

Storholmen, 21.08.18 (U34), litt usikker på bur 6 og 12, men det later til å være noe der.

Bilde: vh og vv. Filnavn:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180821T155038_20180821T155103_012363_016CAC_8AB9

Storholmen, 22.08.18 (U34), usikker på bur 6 og 12. Bilde brukt: vv og vh. Filnavn:
S1A_IW_GRDH_1SDV_20180822T154319_20180822T154344_023361_028A8B_1D7B

Storholmen, 23.08.18 (U34), alle merder (12) til stede, litt vanskelig å se (usikker på bur 12).

Bilde brukt: vv. Filnavn:

S1A_IW_GRDH_1SDV_20180823T050339_20180823T050404_023369_028AD4_827E

Slettnesfjord

Merd 10 har utsett av fisk 11 juni. Merd 1-9 har utsett mellom 23 og 31 juli. Produksjon i alle merder fra 7. august. Alle merder er ved lokaliteten i hele perioden. Det antas at det ikke er not eller luseskjørt i noen andre merder enn nr. 10 i infeksjonsvinduet (06.07-15.07.18). De faktiske forholdene er veldig usikre siden det er 8 dager til utsett ved infeksjonsvinduet slutt.

Slettnesfjord, 22.06.18 (U25), alle merder godt synlige. Bilde: vh. Filnavn:

S1B_IW_GRDH_1SDV_20180622T155035_20180622T155100_011488_0151C3_2EA8

Komagnes

Produksjon i alle merder. Alle er der hele perioden.

Appendiks 3 – «Miljøforhold ved infeksjonstidspunkt» - undersøkte lokaliteter, merder og infeksjonsvindu

| Område | Lokalitet/Merd | Dato for lusetelling | Infeksjonsvindu, start | Infeksjonsvindu, slutt |
|-----------------|----------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Kvalsund | Enkeneset | | | |
| | 7 | 08062018 | 07092018 | 07172018 |
| | 8 | 08202018 | 07262018 | 08022018 |
| | 9 | 08062018 | 07092018 | 07172018 |
| | 10 | 08132018 | 07172018 | 07262018 |
| Langfjord | Sommarbuk | | | |
| | 1 | 08152018 | 07252018 | 07312018 |
| | 3 | 08012018 | 07112018 | 07182018 |
| | 10 | 08082018 | 07182018 | 07252018 |
| | 11 | 08082018 | 07182018 | 07252018 |
| | 12 | 08012018 | 07112018 | 07182018 |
| | Tuvan | | | |
| | 2 | 08082018 | 07182018 | 07242018 |
| Vargsundet nord | Komagnes | | | |
| | 2 | 08062018 | 07142018 | 07222018 |
| | 5 | 07232018 | 06262018 | 07062018 |
| | 7 | 07302018 | 07062018 | 07142018 |
| | 9 | 07302018 | 07062018 | 07142018 |
| | 10 | 08062018 | 07142018 | 07222018 |
| | 11 | 08062018 | 07142018 | 07222018 |
| Vargsundet sør | Nordnes | | | |
| | 7 | 07262018 | 06282018 | 07122018 |
| | 9 | 07262018 | 06282018 | 07122018 |
| | 10 | 07312018 | 07122018 | 07182018 |
| | Olderfjord | | | |
| | 7 | 08082018 | 07142018 | 07222018 |
| | 11 | 07182018 | 06132018 | 06262018 |
| | Storholmen | | | |
| | 10 | 08022018 | 07072018 | 07182018 |
| Sørøya | Slettnesfjord | | | |
| | 10 | 07302018 | 07062018 | 07152018 |

Appendiks 4 – P-verdier og korrelasjon for alle utførte GLM og GAM tester

Se kapittel 2.3.2.3 for nummereringsforklaring.

| P-verdier (+/-, positiv/negativ korrelasjon) | GLM1 | GLM2 | GLM3 | GAM | GLM1 m/smittepress | GLM2 m/smittepress | GLM3 m/smittepress |
|---|------------|-----------|-----------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Maks strøm (-5m) | 0,9424 (+) | N/A | N/A | 0,2643 | 0,0955 (+) | N/A | N/A |
| Maks vind | 0,0431 (-) | N/A | N/A | 0,0658 | 0,0449 (-) | N/A | N/A |
| Min. salinitet | 0,9994 (+) | N/A | N/A | 0,2764 | 0,1847 (-) | N/A | N/A |
| Vindhendelse | N/A | 0,505 (+) | 0,467 (+) | N/A | N/A | 0,995 (+) | 0,203 (+) |
| Strømhendelse | N/A | 0,860 (+) | N/A | N/A | N/A | 0,618 (-) | N/A |
| Salinitetshendelse | N/A | 0,332 (-) | N/A | N/A | N/A | 0,339 (-) | N/A |
| Strømhendelse (funk. av sal.) | N/A | N/A | 0,993 (-) | N/A | N/A | N/A | 0,998(-) |
| Eksternt smittepress | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,0259 (+) | 0,113 (+) | 0,204 (+) |

Appendiks 5 – Datagrunnlag for analyser

0D angir overflate og 1D angir 5 meters dyp. Den første tabellen er datasettet uten eksternt smittepress. Den andre tabellen er datasettet med eksternt smittepress.

| Lokalitet MerdID | Infeksjonsvindu | Min Salinitet0D | Max Strømstyrke1D | Max Middelvind | Vindhendelse | Strømhendelse | Salinitetshendelse | Strøm+ Salinitets hendelse |
|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|--------------------|----------------------------|
| 10070 | 0 | 29,60325 | 0,399655 | 11,2 | 0 | 33 | 0 | 0 |
| 10071 | 1 | 31,5213 | 0,371961 | 6,1 | 0 | 41 | 0 | 0 |
| 10080 | 0 | 32,55497 | 0,391728 | 7,3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10081 | 1 | 31,85744 | 0,402756 | 7,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10090 | 0 | 29,60325 | 0,399655 | 11,2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10091 | 1 | 31,5213 | 0,371961 | 6,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10100 | 0 | 31,5213 | 0,371961 | 6,1 | 0 | 29 | 0 | 0 |
| 10101 | 1 | 32,55497 | 0,391728 | 7,3 | 0 | 36 | 0 | 0 |
| 12020 | 0 | 32,00903 | 0,133065 | 5,9 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 12021 | 1 | 31,96269 | 0,189581 | 6,1 | 0 | 13 | 0 | 0 |
| 12050 | 0 | 29,20006 | 0,199397 | 15,1 | 0 | 19 | 0 | 0 |
| 12051 | 1 | 31,38025 | 0,247035 | 15,3 | 0 | 16 | 0 | 0 |
| 12070 | 0 | 31,38025 | 0,247035 | 15,3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12071 | 1 | 32,00903 | 0,133065 | 5,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12090 | 0 | 31,38025 | 0,247035 | 15,3 | 0 | 11 | 0 | 0 |
| 12091 | 1 | 32,00903 | 0,133065 | 5,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12100 | 0 | 32,00903 | 0,133065 | 5,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12101 | 1 | 31,96269 | 0,189581 | 6,1 | 0 | 11 | 0 | 0 |
| 12110 | 0 | 32,00903 | 0,133065 | 5,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12111 | 1 | 31,96269 | 0,189581 | 6,1 | 0 | 11 | 0 | 0 |
| 13070 | 0 | 24,59352 | 0,239963 | 15,7 | 0 | 0 | 51 | 0 |
| 13071 | 1 | 25,89427 | 0,217995 | 12,8 | 0 | 0 | 22 | 0 |
| 13090 | 0 | 24,59352 | 0,239963 | 15,7 | 0 | 0 | 51 | 0 |
| 13091 | 1 | 25,89427 | 0,217995 | 12,8 | 0 | 0 | 22 | 0 |
| 13100 | 0 | 27,5433 | 0,139837 | 11,6 | 0 | 0 | 8 | 0 |
| 13101 | 1 | 30,35116 | 0,199298 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14070 | 0 | 30,41369 | 0,231703 | 11,6 | 0 | 23 | 0 | 0 |
| 14071 | 1 | 30,65084 | 0,25517 | 12,5 | 2 | 31 | 0 | 0 |
| 14110 | 0 | 25,0774 | 0,304268 | 13,1 | 0 | 37 | 8 | 2 |
| 14111 | 1 | 27,27719 | 0,293039 | 13,8 | 1 | 40 | 3 | 0 |
| 15100 | 0 | 33,39381 | 0,383047 | 15,3 | 0 | 15 | 0 | 0 |
| 15101 | 1 | 32,9728 | 0,263748 | 5,9 | 0 | 38 | 0 | 0 |
| 16010 | 0 | 27,92591 | 0,175363 | 7,1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 16011 | 1 | 29,83731 | 0,172547 | 7,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16030 | 0 | 27,8396 | 0,221203 | 10 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| 16031 | 1 | 28,69725 | 0,183097 | 8,4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16100 | 0 | 28,56054 | 0,183097 | 9,1 | 0 | 6 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|--------------------|----------|-----------------|-----------------|-------------|----------|------------|------------|----------|
| 16101 | 1 | 27,92591 | 0,175363 | 7,1 | 0 | 7 | 1 | 0 |
| 16110 | 0 | 28,56054 | 0,183097 | 9,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16111 | 1 | 27,92591 | 0,175363 | 7,1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 16120 | 0 | 27,8396 | 0,221203 | 10 | 0 | 10 | 5 | 4 |
| 16121 | 1 | 28,69725 | 0,183097 | 8,4 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 17100 | 0 | 27,179 | 0,426971 | 15,7 | 1 | 4 | 3 | 0 |
| 17101 | 1 | 29,29102 | 0,268048 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18020 | 0 | 27,65914 | 0,208991 | 8,4 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| 18021 | 1 | 27,94045 | 0,298379 | 7,1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Grand Total | 1 | 24,59352 | 0,426971 | 15,7 | 4 | 434 | 185 | 6 |

| Lokalitet MerdID | Inf.-vindu | Min Salinitet0D | Max Strømstyrke1D | Max Middelvind | Vindhendelse | Strømhendelse | Salinitets-hendelse | Strøm+ Salinitets-hendelse | Gjennomsnittlig smittepress |
|--------------------|------------|-----------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 13070 | 0 | 24,59352 | 0,239963 | 15,7 | 0 | 0 | 51 | 0 | 8,795 |
| 13071 | 1 | 25,89427 | 0,217995 | 12,8 | 0 | 0 | 22 | 0 | 11,26502825 |
| 13090 | 0 | 24,59352 | 0,239963 | 15,7 | 0 | 0 | 51 | 0 | 8,801294118 |
| 13091 | 1 | 25,89427 | 0,217995 | 12,8 | 0 | 0 | 22 | 0 | 11,26502825 |
| 13100 | 0 | 27,5433 | 0,139837 | 11,6 | 0 | 0 | 8 | 0 | 11,61156627 |
| 13101 | 1 | 30,35116 | 0,199298 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,17192771 |
| 14070 | 0 | 30,41369 | 0,231703 | 11,6 | 0 | 23 | 0 | 0 | 10,79252336 |
| 14071 | 1 | 30,65084 | 0,25517 | 12,5 | 2 | 31 | 0 | 0 | 11,27588235 |
| 14110 | 0 | 25,0774 | 0,304268 | 13,1 | 0 | 37 | 8 | 2 | 6,044964029 |
| 14111 | 1 | 27,27719 | 0,293039 | 13,8 | 1 | 40 | 3 | 0 | 8,586603774 |
| 15100 | 0 | 33,39381 | 0,383047 | 15,3 | 0 | 15 | 0 | 0 | 9,378666667 |
| 15101 | 1 | 32,9728 | 0,263748 | 5,9 | 0 | 38 | 0 | 0 | 9,664705882 |
| 16010 | 0 | 27,92591 | 0,175363 | 7,1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9,289350649 |
| 16011 | 1 | 29,83731 | 0,172547 | 7,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,763243243 |
| 16030 | 0 | 27,8396 | 0,221203 | 10 | 0 | 0 | 5 | 0 | 8,228947368 |
| 16031 | 1 | 28,69725 | 0,183097 | 8,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,824210526 |
| 16100 | 0 | 28,56054 | 0,183097 | 9,1 | 0 | 6 | 0 | 0 | 8,803551402 |
| 16101 | 1 | 27,92591 | 0,175363 | 7,1 | 0 | 7 | 1 | 0 | 9,360779221 |
| 16110 | 0 | 28,56054 | 0,183097 | 9,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,803551402 |
| 16111 | 1 | 27,92591 | 0,175363 | 7,1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9,360779221 |
| 16120 | 0 | 27,8396 | 0,221203 | 10 | 0 | 10 | 5 | 4 | 8,228947368 |
| 16121 | 1 | 28,69725 | 0,183097 | 8,4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 8,824210526 |
| 18020 | 0 | 27,65914 | 0,208991 | 8,4 | 0 | 0 | 3 | 0 | 8,96 |
| 18021 | 1 | 27,94045 | 0,298379 | 7,1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9,459350649 |
| Grand Total | 1 | 24,59352 | 0,383047 | 15,7 | 3 | 208 | 182 | 6 | 9,461686156 |

