

Kristina Kallestad Pedersen, Shannon Mostad og
Sofie Blydt Paulsen

Undersøkelse av den vertikale distribusjonen hos nauplii (*Lepeophtheirus salmonis*) ved hjelp av kunstig intelligens: en casestudie

Bacheloroppgave i Biomarin Innovasjon
Veileder: Lars Christian Gansel og Stig Atle Tuene
Mai 2024

Kristina Kallestad Pedersen, Shannon Mostad og
Sofie Blydt Paulsen

Undersøkelse av den vertikale distribusjonen hos nauplii (*Lepeophtheirus salmonis*) ved hjelp av kunstig intelligens: en casestudie

Bacheloroppgave i Biomarin Innovasjon
Veileder: Lars Christian Gansel og Stig Atle Tuene
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for biologiske fag Ålesund



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Norge er den globalt største produsenten av Atlantisk laks (*Salmo salar*). En av de største utfordringene ved produksjon i åpne merder er ektoparasitten lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*). Dette problemet har gitt både biologiske og økonomiske tap for oppdrettsnæringen, til tross for at det finnes flere metoder for å forhindre og fjerne lakselus. En forståelse av dybdefordelingen til lakselus er sentralt for å videreutvikle behandlingsstrategier for å beskytte både oppdretts- og villfiskbestander mot lakselus.

I denne studien har det blitt gjennomført innsamling av planktonprøver ved en kommersiell oppdrettslokalitet for laksefisk på Gudmundset, ved hjelp av pumpe og planktonhåv. Det ble pumpet vann fra 2 meters dybde i og utenfor merd, samt 10 meter og 20 meter utenfor merd. Sammenlagt ble det tatt 28 prøver. Prøvene ble innhentet 26.02.24-27.02.24 i tidsrommet 20:50-12:10. Prøvene har, ved hjelp av kunstig intelligens, blitt analysert og behandlet for å kartlegge hvor i vannsøylen det er høyest konsentrasjon av nauplii. Et flow-system ble benyttet for å filme prøvene før videoene ble analysert ved hjelp av YOLOv8n, en avansert modell for objektgjenkjenning innen kunstig intelligens. Videoene ble analysert av YOLOv8n i to separate gjennomkjøringer for å vurdere modellens evne til deteksjon av lakselus. Nøyaktigheten ble satt til 10 % og 60 %, der lavere prosent ga flere identifikasjoner, men en betydelig økning i falske positive.

Alle nauplii som ble identifisert befant seg på 2 og 10 meters dybde. 66,6 % av alle nauplii ble funnet på dybde 2 meter i merd. Det ble identifisert lus på alle tidspunkt med unntak av kl.12:10. Modellen identifiserte 23 mer nauplii med en nøyaktighet på 10 % sammenlignet med 60 %. Resultatene fra forsøket kan benyttes til å videreutvikle YOLOv8n slik at forekomsten av falske positive reduseres samtidig som samtlige nauplii identifiseres. Det anbefales videreføring av arbeidet for å få en tydeligere forståelse av vertikalfordelingen av lakselus.

Abstract

Norway is the world's largest producer of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). One of the major challenges in open cage production is the ectoparasite salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*). This problem has caused both biological and economic losses for the aquaculture industry, despite the fact that there are several methods to prevent and remove salmon lice. Understanding the depth distribution of salmon lice is essential for developing treatment strategies to protect both farmed and wild fish stocks against salmon lice.

In this study, plankton samples were collected at a commercial salmon farming site at Gudmundset, using a pump and a plankton net. Water was pumped from a depth of 2 meters inside and outside the cage, as well as 10 meters and 20 meters outside the cage. A total of 28 samples were taken. The samples were collected on 02.26.24-02.27.24 in the time period 8:50 PM - 12:10 PM. The samples have been analyzed and processed using artificial intelligence to map where in the water column the highest concentration of nauplii is located. A flow system was used to film the samples before the videos were analyzed using YOLOv8n, an advanced model for object recognition in artificial intelligence. The videos were analyzed by YOLOv8n in two separate runs to assess the model's ability to detect salmon lice. The confidence was set to 10 % and 60 %, where lower percentage gave more identifications, but resulted in a significant increase in false positive.

All nauplii that were identified were at a depth of 2 and 10 meters. 66.6 % of all nauplii were found at a depth of 2 meters in cages. Lice were identified at all times, except 12:10 PM. The model identified 23 more nauplii with 10 % accuracy compared to 60 %. The results from the experiment can be used to further develop YOLOv8n to reduce the occurrence of false positives while identifying all nauplii. It is recommended to continue this work to gain a clearer understanding of the vertical distribution of sea lice.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av tre studenter fra Biomarin Innovasjon, ved NTNU i Ålesund. Valg av tema ble basert på vår felles interesse for akvakultur og problematikken rundt lakselus.

Vi ønsker å rette en takk til våre veiledere Lars Christian Gansel og Stig Atle Tuene, for god veiledning og hjelp gjennom hele prosessen. Vi ønsker også å takke NTNU for tilgang til båt og nødvendig utstyr.

Innholdsfortegnelse

1.0 Introduksjon	1
1.1 Akvakultur i Norge.....	1
1.2 Trafikklyssystemet.....	2
1.3 Lakselus biologi.....	3
1.3.1 Behandling og forebygging av lakselus	4
1.4 Dyreplankton	6
1.5 Kunstig intelligens	7
1.4.1 YOLOv8n.....	8
1.6 Formål	9
2.0 Material og metode	9
2.1 Innsamling av planktonprøver.....	9
2.2 Flow-system.....	13
2.3 Identifikasjon av lakselus med YOLOv8n.....	15
2.4 Manuell gjennomgang av videoer	15
2.5 Behandling av data.....	16
3.0 Resultat.....	16
3.1 Manuell telling og identifikasjon av nauplii.....	16
3.2 Vertikalfordeling.....	19
3.2.1 Funn av lakselus	19
3.2.3 Funn av krepsdyr	20
3.3 Miljømålinger	20
4.0 Diskusjon.....	21
4.1 Innsamling og behandling av planktonprøver.....	21
4.1.1 Filtrering og tetthet av planktonprøver.....	21
4.2 Kunstig intelligens - manuell telling og identifikasjon av nauplii.....	22
4.3 Vertikalfordeling av lakselus og krepsdyr	24
4.4 Videre forskning.....	27
5.0 Konklusjon.....	27
Litteraturliste.....	28
Vedlegg.....	32

1.0 Introduksjon

1.1 Akvakultur i Norge

I 2023 eksporterte Norge fisk for 165,3 milliarder kroner, en økning på 12,9 % fra 2022 (SSB, 2023). Av denne verdien utgjorde laks 71 % av den totale sjømateksporten (Norges sjømatråd, 2024), og gjør med dette oppdrett til en av de viktigste eksportnæringene for Norge. Næringen bidrar også positivt for sysselsetting og verdiskaping. I 2022 var det 10 157 ansatte i akvakulturbransjen i Norge, noe som er en økning på 350 ansatte fra 2021 (Fiskeridirektoratet, 2023a). Naturforholdene i Norge er en stor årsak til etableringen av oppdrettsnæringen. Med den lange kystlinjen samt mange fjorder og øyer, er flere områder naturlig beskyttet for trusler som vind og høye bølger, samtidig som Golfstrømmen bidrar til å holde kystlinjen fritt for is (Paisley et al., 2010). Norge er et godt egnet land for akvakultur og har i dag en produksjon av atlantisk laks (*Salmo salar*), så stor at landet legger seg høyt oppe i verdensbasis. Atlantisk laks er den fisken det produseres desidert mest av og utgjør 95 % av all laksefiskproduksjon i Norge (Mikkelsen, 2024). Oppdrettsnæringen i Norge har utviklet seg raskt og har ført til en stor økning i produksjonsmengde. En konsekvens av dette er flere produksjonsanlegg med åpne merder i sjø. Dette har blant annet ført til en økning i miljømessige utfordringer, samt genetiske interaksjoner mellom villfisk og oppdrettsfisk (I. A. Johnsen et al., 2021). Ved bruk av åpne merder i sjø vil det være kontinuerlig gjennomstrømming av vann som gir mulighet for fri passasje av patogener, virus og parasitter. I dag er det spesielt store utfordringer knyttet til angrep av lakselus.

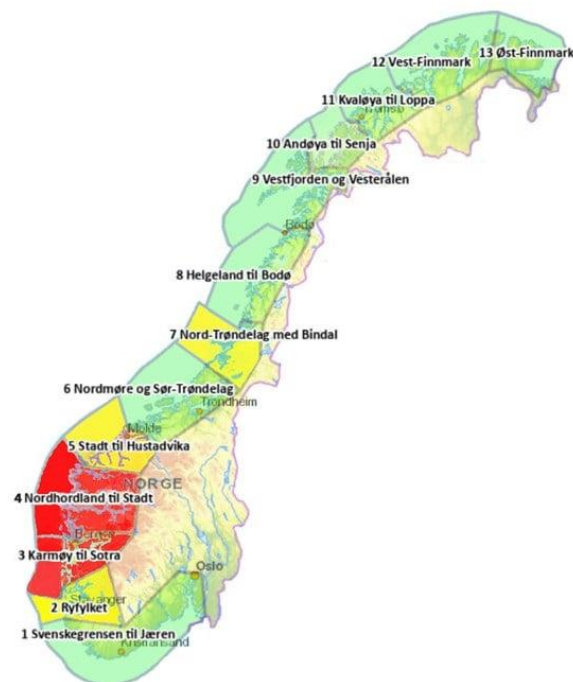
Lepeophtheirus salmonis (Krøyer 1839), er en *caligid copepod*, eller hoppekreps, som infiserer laksen og lever av dens slim, blod og hud (Moriarty et al., 2023). Når lusa infiserer laksen, gjør den skade på skinnet noe som gjør laksen mer utsatt for sekundære infeksjoner. Dette kan føre til både fysiologiske og osmoregulatoriske problemer som igjen kan være en årsak til høyere dødelighet (I. A. Johnsen et al., 2021) og tap av tilvekst (Abolofia et al., 2017). Det er også påvist sammenheng mellom lusesmittet laks og smitte av virusinfeksjoner (Barker et al., 2019). Siden starten på oppdrettseventyret i Norge, i 1970-tallet, har lakselus vært et problem i oppdrettsnæringen (Torrissen et al., 2013). Problemet vedvarer fremdeles i dag, mye grunnet rask resistensutvikling hos lakselusa og lite kunnskap. Derfor er tiltakene som settes i gang vanligvis verdifulle i begrensede perioder (Overton et al., 2019).

Norsk oppdrettsnæring brukte i 2018, 5,2 milliarder kroner direkte på bekjempelse av lakselus. I dette inngår avlusningsmetoder, overvåkning og forebyggende tiltak (Iversen et al., 2019). Indirekte faktorer som tap av tilvekst og høyere dødelighet, øker og kostnadene betydelig. Avlusningsmetodene er en stor påkjenning og stressfaktor for laksen og kan føre til vekstreduksjon (Walde et al., 2022). En rapport viser til at nedgangen i veksthastighet varte i syv dager etter medisinsk avlusing, før den gikk tilbake til normalt. Ved ikke-medisinske

avlusingsmetoder var tiden med forsinket veksthastighet noe lengre. (Walde et al., 2022). Dette ble forklart med at det var større påkjenning for laksen både fysisk og psykisk å gjennomgå ikke-medisinske avlusingsmetoder. I 2023 døde 62,8 millioner laks i sjøfasen av produksjonen, noe som er det høyeste registrerte tallet per dags dato (Brun & Sommerset, 2024). Avlusinger er en stor årsak til den høye dødeligheten. I risikorapport fra norsk fiskeoppdrett er det per 2023 skrevet at det generelt har vært høyere dødelighet av laks på Vestlandet. Dette grunnet mer press fra lakselus og dårligere toleranse for avlusing. Lengre nord har dødeligheten og lusepresset vært mindre, noe som argumenterer for et økende tap for næringen jo mer lakselus og behandlinger som finner sted (Andersen et al., 2023). Lakselus-problematikken er også med på å regulere om man kan øke veksten av oppdrettsnæringen i framtiden og for bærekraften. Grunnet den raske veksten i oppdrettsnæringen har lakselus populasjonen økt, noe som også har påvirket villaksen negativt. Dette har nødvendiggjort utviklingen av systemer som er med på å overvåke og kontrollere spredningen av lakselus. Trafikklyssystemet er et slikt tiltak, og er innført for å oppnå en forutsigbar og bærekraftig vekst i oppdrettsnæringen (Fiskeridirektoratet, u.å.)

1.2 Trafikklyssystemet

Norges bestand av vill atlantisk laks, representerer en tredjedel av verdens gjenværende bestand av arten (Regjeringen, 2021). Derfor har Norge et særskilt ansvar internasjonalt for å ta vare på den ville laksebestanden. Dette har Norge forpliktet seg til gjennom både nasjonale og internasjonale lover og forskrifter (Regjeringen, 2021). For å verne villfisken og redusere spredningen av lakselus har trafikklyssystemet blitt avgjørende. Ved temperaturer lik 4 °C eller mer skal det gjennomføres lusetellinger minst hver 7. dag på oppdrettsanlegg for å rapportere forekomst av lakselus. Er temperaturen under 4 °C gjennomføres tellinger minst hver 14. dag (Solberg et al., 2017; Forskrift om lakselusbekjempelse, 2020, § 6). Det telles minst 10-20 fisk per merd med ulike metoder for fangst og uttak av fisk (Solberg et al., 2017) Lusa skal kategoriseres i ulike utviklingsstadier, voksen hunnlus, bevegelige stadier og fastsittende stadier (Thorvaldsen, Frank & Sunde, 2018, s.4). Denne kvantifiseringen er viktig for å kontinuerlig sikre bærekraftig vekst og hindre at miljøets bæreevne ikke overstiges (Fiskeridirektoratet, u.å.). Trafikklyssystemet skal sørge for opprettholdelsen av disse punktene. Et av tiltakene for å holde lusepresset nede er innføring av lakselus grenser. I dag er denne grensen satt til 0,5



Figur 1. produksjonsområder i Norge og deres produksjonskapasitet per 2021.

voksen hunn lus per fisk per lokalitet. Ved utvandring av villaks fra elvene, settes grensene ned til 0,2 voksen hunn lus per fisk (Regjeringen, 2021). Når grensen overskrides må det settes inn tiltak for å redusere mengden lus. Norskekysten er inndelt i 13 produksjonsområder der grensene er basert på hvordan lakselus som produseres i oppdrettsanleggene sprer seg langs kysten. Hensikten for inndelingen er å minimere smitten av lakselus på tvers av områdene (Fiskeridirektoratet, u.å.).

Hvert produksjonsområde i Norge blir analysert og regulert ut ifra hvor mye lusa påvirker villaksen og områdets miljømessige bærekraft (fiskeridirektoratet, 2022; produksjonsområdeforskriften, 2021, § 1-8). Deretter avgjør Nærings- og fiskeridepartementet hvorvidt produksjonskapasiteten i de 13 produksjonsområdene i Norge kan økes (grønt lys), må reduseres (rødt lys) eller holdes uendret (gult lys) (fiskeridirektoratet, 2022). Figur 1 illustrerer inndelingen per 2021. Er det registrert lite lus på oppdrettsfisken, betyr dette lite rekruttering av lakseluslarver, som igjen betyr at smittepresset for villfisken er relativt lavt. Er dette tilfellet kan oppdrettere øke produksjonsmengden i produksjonsområdet. Når det derimot er et høyt antall lakselus på fisken, øker smittepresset for villfisken og produksjonsmengden må reduseres. For å kunne utvikle gode tiltak for å begrense lakselus på oppdrettslaks, som igjen vil føre til mindre påslag lakselus hos villfisk, er det nødvendig å kjenne til biologien til lakselusa.

1.3 Lakselus biologi

Lakselus er en ektoparasitt som finnes naturlig i den nordlige delen av Atlanterhavet (Brooker et al., 2018) og livnærer seg kun på salmonider, også kalt laksefisk. Lusa har stor evne til å reproducere seg, og en kjønnsmoden hunn lus kan produsere opp til 11 par eggstrenger gjennom sin livstid ved 7,2 °C (Heuch et al., 2000). En streng kan inneholde mellom 70 til 290 egg (Eisenhauer et al., 2020). Variasjonen på antall og størrelse, samt om de klekker og blir til kjønnsmodne adult, varierer ut ifra miljøfaktorer som temperatur og salinitet (Costello, 2006; Dalvin & Oppedal, 2019).

Lakselusa har åtte livsstadier, der stadiene skilles med at lusa skifter skall (Hamre et al., 2009). Tiden det tar for lakselusa å utvikle seg er sterkt påvirket av temperatur og salinitet (Samsing et al., 2016). I de to første stadiene (Nauplius I & II) er lusa planktonisk og avhengig av plommesekken for energi. Lengden og bredden på nauplius I og II varierer fra 511 til 620 µm i lengde og 188 til 230 µm i bredde (Allen & Lewis, 2013; Schram, 2004). I det tredje stadiet (Copepoditt), infiserer og livnærer lusa seg på laks (Costello, 2006; Hamre et al., 2009). I disse tre stadiene kalles de lakseluslarver (Figur 2). De to neste stadiene (Chalimus I & II) er lusa fastsittende og de tre siste (Preadult I & II og adult) er den motil og svømmer fritt rundt på verten (Costello, 2006).

Utviklingstiden fra nauplius I stadiet til det infeksjøs copepoditt stadiet, varierer ut fra temperaturen i omgivelsene. Flere rapporter viser til at varmere vanntemperaturer fører til kortere utviklingstid (Johnson & Albright, 1991). I rapporten av Samsing et al., (2016) var

utviklingstiden på 59 ± 3.2 døgngader ved 5°C . Hamre et al., (2019) viser til funn av normal utvikling hos lakselus ved 6°C - 21°C . I en rapport av Jevne et al., (2021) ble det på vinterstid funnet $0,15 \pm 0,36 \text{ m}^3$ lakselus ved innsiden av merden, mens det på utsiden ble funnet $0,12 \pm 0,19 \text{ m}^3$.

Når en nauplia utvikler seg til en copepoditt, er tiden den har på å finne seg en vert, sterkt avhengig av temperatur. I en rapport av Samsing et al., (2016), overlevde 80 % av copepodittene i 10 dager ved 5°C . Rapporten viser også til at infeksjonssuksessen hos copepodittene samsvarer med vanntemperatur. Fisk som ble infisert ved 10°C hadde 1,2 ganger mer lus på seg enn de som ble infisert ved 20°C og 25 ganger høyere enn de som ble infisert ved 5°C (Samsing et al., 2016).



(a) *L. salmonis*. Newly hatched nauplius I larvae.

(b) Nauplius II larvae of *L. salmonis*.

(c) Copepodid larvae of *L. salmonis*.

Figur 2. sammenligner utseende til lakseluslarvene i de ulike larvestadiene. a) Nauplius I. b) Nauplius II. c) copepoditt (Ingebrigtsen, 2017).

Tidligere forskning viser til at lakselusa kan svømme vertikalt (I. Johnsen et al., 2016), og det er særlig på nauplii- og copepoditt-stadiet i livssyklusen, vi finner de på dypere nivå (I. Johnsen et al., 2014). Forskning viser til at nauplii kan være på enda dypere nivå på vinterstid og befinner seg generelt dypere enn copepodittener (I. Johnsen et al., 2014). Nauplii er negativ fototaksis og har ingen klare migrasjonsmønster. Tidligere forsøk viser til at nauplii migrerte til overflaten i mørket og bevegde seg nedover i vannsøylen ved lys (Nelson et al., 2018). Copepoditter er positiv fototaksis da de beveger seg oppover i vannsøylen ved lys (Nelson et al., 2018). En artikkel av Hagemann et al., (2024) viser til at copepoditter migrerte til 1-2 meters dyp i løpet av natten, mens de på dagtid ble observert i overflaten på 1 meter. Samme forsøk viser derimot til lite vandring til dypere vannlag (Hagemann et al., 2024). Lusa posisjonerer seg ofte høyt i vannsøylen for å øke probabiliteten for å feste seg til en vert (Oppedal et al., 2017). Det vil også være naturlig å finne den mer sentralt i merden sammenlignet med ytterkantene av merden da det er her majoriteten av laksen befinner seg (Oppedal et al., 2011). Å forstå hvor lusa befinner seg er essensielt for effektiv behandling og forebygging av lakselus.

1.3.1 Behandling og forebygging av lakselus

Metodene for å bekjempe lakselus fokuserer primært på å fjerne lus som allerede har infisert og festet seg til laks. I dette stadiet kan voksne hunnlus ha frigjort eggene sine fra

eggstrengene, og dermed bidratt til fremveksten av neste generasjon lakselus (Nelson et al., 2017). Som en konsekvens av stress kan hunnlusa slippe eggstrengene under avlusning eller trenging. Disse eggstrengene kan fortsette å utvikle seg og potensielt slippe nauplii-larver ut i vannet (Eisenhauer et al., 2020). Ved å forhindre at eggene klekker fra eggstrengene og utvikler seg til voksen lakselus, vil man kunne hemme at neste generasjon med lakselus blir til. Det er derfor viktig å forske på de første stadiene til lakselus (Nauplius I & II og Copepoditt) for å forstå hvordan de lever og oppfører seg i sjøen. Da kan potensielle svakheter avdekkes som kan gjøre det lettere å utvikle forebyggende strategier og behandlingsmetoder, for å eliminere lakseluslarver før de når adult stadiet (Nelson et al., 2018).

Forebyggende metoder blir brukt for å redusere hyppigheten av nye luseinfestasjoner. Innen disse metodene er det ulike tilnærminger som blir brukt. Dette innebærer blant annet metoder som fysiske barrierer, tiltak som reduserer infeksjonssuksessen til copepoditter, eller smitteforebygging gjennom fôring og vaksinerings (Barrett, Oppedal, et al., 2020). Slike metoder er foretrukne da de ikke forårsaker skade på fisken, påvirker vekst eller fører til resistensutvikling hos lus. Forskning av Barrett, Oppedal, et al. (2020b) dokumenterer opptil 76 % reduksjon i angrepstetthet ved bruk av snorkelmerder eller luseskjørt, og opptil 100 % reduksjon ved bruk av helt lukkede merder. Disse funnene understreker at barriereteknologier som begrenser møtetfrekvensen mellom laks og lus gir gunstig beskyttelse mot lakselus ved optimale forhold.

I en annen studie utført av Havforskningsinstituttet (Oldham et al., 2023), ble det påvist at snorkelmerder reduserer luseinfestasjon med over 80 % under optimale forhold. Denne effekten avtok betydelig når forholdene avvike fra det ideelle, da snorkelmerdene viste seg å være sensitive overfor store variasjoner i temperatur og salinitetsgrad i vannsøylen. For å oppnå høy reduksjon i luseinfestasjon må disse forholdene være jevne gjennom merden. Selv under optimale forhold kan snorkelmerder påvirke fisken negativt ved å redusere tilvekst og øke forekomsten av amøbisk gjelle sykdom (AGD). I kombinasjon med atferdsendrende metoder som bruk av nedsenket lys, har luseskjørt vist seg å redusere luseangrep med over 50 % uten å påvirke tilvekst eller gjellene til fisken. Effekten av snorkelmerder og luseskjørt som forebyggende tiltak ble imidlertid redusert under forhold med kraftig strøm og høye bølger.

Behandling for avlusning deles inn i tre grupper: biologisk avlusning, medikamentell avlusning og ikke-medikamentell avlusning. Bruk av medikamentfri behandlinger ble etter 2017 den mest brukte metoden for avlusning (Myhre Jensen et al., 2020). I dag er det vanlig å bruke enten termisk-, ferskvann- og mekanisk behandling, som innebærer spyling og/eller børsting, eller en kombinasjon av disse tre. Slike metoder påfører store kostnader hos oppdrettere (Walde et al., 2023). Det kan derimot diskuteres hvorvidt disse behandlingene er etisk riktige da de kan utgjøre stor skade på fisken i form av stress (Overton et al., 2020). Stressfaktoren øker risikoen for dødelighet hos laksen og skaper med dette en redusert fiskevelferd (Barrett, Oppedal, et al., 2020). På grunn av denne påkjennelsen har det vært behov for andre metoder som har minimale konsekvenser for fiskens velferd (Overton et al.,

2020). Rensefisk er en biologisk metode for fjerning av lakselus som har blitt tatt i bruk siden slutten av 1980-tallet. Metoden er mindre stressende for fisken samtidig som den er mer økonomisk for oppdrettsnæringen (Overton et al., 2020). Uheldigvis viser forskning til at rensefisken har ulik effektivitet og suksess, samtidig som det er stilt store spørsmålstegn knyttet velferden til rensefiskene (Barrett, Overton, et al., 2020).

Medikamentelle metoder har vært dominerende innenfor avlusning i Norge fram til 2017 (Myhre Jensen et al., 2020). Disse metodene har vist seg å være forutsigbare og effektive mot lakselus, som igjen har ført til økt bruk av disse medikamentene. Medikamentelle metoder brukes enten ved badebehandling eller ved å gi fisken medikamenter i fôret. utfordringene med badebehandling er at medikamentene som blir brukt, kan spres til nærområder og påvirke miljø og andre arter. Blir medisin gitt via fôr vil ikke dette være en utfordring, men en mulig konsekvens er at syk fisk mister appetitten og ikke får i seg tilstrekkelig med medisin. Selv om disse metodene er forutsigbare og effektive, har de også blitt mye kritisert. Dette grunnet lusa sin evne til å bli resistent mot medikamentene i tillegg til måten det påvirker miljøet og artene rundt anleggene (Aaen et al., 2015).

Samlet sett er det en rekke utfordringer knyttet til medikamentelle, ikke-medikamentelle og biologiske avlusningsmetoder. Dårlig avlusningseffekt, forringet fiskevelferd og negativ påvirkning på miljøet og lusens resistensutvikling er noen av utfordringene. Selv etter mange år med forskning på lakselus og utarbeiding av avlusningsmetoder, er det fremdeles et kritisk problem i oppdrettsnæringen. Det er utført lite forskning og er generelt lite data om fordelingen av lakselus i sjøen noe som er vesentlig for å utvikle gode forebyggende metoder. Det er fremdeles behov for å bedre forståelsen for de planktoniske stadiene av lakselus og deres distribusjon i vannsøylen for å lettere forstyrre dens livssyklus og forhindre at den infiserer laksen.

1.4 Dyreplankton

Dyreplankton, også kjent som «zooplankton», er samlebegrepet på en rekke små dyr som enten flyter eller beveger seg fritt i vannmassene (Dommasnes et al., 2008). Siden de er såpass små, er egenforflytningen deres begrenset og den horisontale fordelingen bestemmes hovedsakelig av havstrømmene (Universitetet i Oslo, 2024). Flere av artene har derimot vertikalvandring som avhenger av årstider. De ligger dypere ved vinterstid og kommer lenger opp mot overflaten om våren og sommeren (Dommasnes et al., 2008). Det er også noen arter som migrerer vertikalt daglig. Disse oppholder seg dypere i vannsjiktet midt på dagen og migrerer mot overflaten i de mørke delene av døgnet (Dommasnes et al., 2008).

Sesongvariasjonen til primærproduksjonen er avgjørende for livssyklusen til dyreplankton. Lipidlagrene benyttes som energi i de periodene primærproduksjonen er mindre produktiv. Vinterhalvåret er ofte preget av mindre biomasse dyreplankton da algeoppblomstringen enda ikke har skjedd. Denne oppblomstringen skjer rundt april noe som øker konsentrasjonen av dyreplankton (Coguic et al., 2021). Det viktigste dyreplanktonet vi finner i Norskehavet er

ulike hoppekreps og amfipoder. Hoppekrepsen har desidert høyest biomasse i atlantisk vann og kan flere steder utgjøre opptil 80-90 % av den samlede biomassen av dyreplankton (Skogen et al., 2007).

Lakselus inngår i klassen hoppekreps og de første tre stadiene er planktoniske (Dalvin, S, 2020). For å identifisere lakseluslarver og andre plankton har tradisjonelt lysmikroskopi vært brukt. Fordelen med denne metoden er at man kan finne ut hvilket stadium lusa er i, men det er en svært tidkrevende prosess ved et høyt antall prøver. Ifølge rapporten av Bui et al., (2021), tok det 27 timer å behandle 19 prøver med lysmikroskopi. Det er også et behov for opplæring i identifikasjon av lakselus, ettersom evnen til å identifisere lus kan variere blant personell (Bui et al., 2021; Skern-Mauritzen et al., 2021).

Å finne én art innenfor dyreplankton, har vist seg å være en svært tidkrevende prosess, der man må innhente store kvanta med prøver for å pålitelig klare å identifisere dem. I tillegg har hoppekreps nauplii mange strukturelle fellestrekk som gjør det utfordrende å skille artene fra hverandre. Larvene karakteriseres med at de er langstrakte og avrundet, mens bakre del er smalere. Anterior enden av kroppen har minst tre «bein» på hver side av kroppen. Posterior enden har to små utstikkere som brukes for å holde balansen. Larvene har også et nauplius øye. Typisk for hoppekreps nauplii er at de er gjennomsiktige, der noen nauplii har pigmentflekker (Dahms et al., 2006; Nelson et al., 2018; Schram, 2004). Disse fellestrekkene kan gjøre det vanskelig å identifisere lakselus nauplii fra andre hoppekrepslarver. For å skille de fra hverandre må man se på størrelse, form og pigmentering. Ved visuelle metoder vil opplæring og erfaring med morfologisk identifikasjon være vesentlig (Bui et al., 2021).

På grunn av lakseluslarven sin distribusjon i vannet og dens mikroskopiske størrelse, er det vanskelig å studere de i deres naturlige habitat. Derfor er det ønskelig å forske og utvikle mer effektive og nøyaktige metoder for identifisering og overvåkning. En slik metode kan være å benytte bildegenkjenning ved hjelp av kunstig intelligens (KI).

1.5 Kunstig intelligens

Kunstig intelligens handler om å utvikle datasystemer som kan lære av egne erfaringer og løse problemer (PricewaterhouseCoopers, 2024). De siste årene har bruken av kunstig intelligens økt kraftig, grunnet et ønske om å gjøre maskiner i stand til å løse både fysiske og kognitive oppgaver som tidligere var forbeholdt mennesker (Tennøe, T., 2017).

Maskinene lærer å løse slike oppgaver ved bruk av algoritmer. Disse kan være menneskeskapt eller en blanding mellom menneske- og maskinskapt. Hvis maskinen selv lager disse oppskriftene kalles det for maskinlæring (Kjærgård, 2022, s. 10). Maskinen lærer ved at den blir matet med store mengder treningsdata som kalles for et treningssett før det undersøkes om den har lært noe. Dette gjøres ved å bruke et testsett (Tidemann & Elster, 2023). Objektsgjenkjenning er en avansert form for maskinlæring, der maskinen blir trent på å identifisere og kategorisere objekter i bilder og videoer (Maraslidis et al., 2024). Denne

teknikken brukes bredt, fra automatisk fokusering i fotokamera til gjenkjenning av kreftceller i vevsprøver. Den brukes også til gjenkjenning av parasitter som lakselus i planktonprøver (Terven et al., 2023). Ved å bruke denne teknologien kan man effektivt skille lakselus fra andre organismer på en effektiv og nøyaktig måte.

Konsentrasjonen av lakselus i sjøen er relativt lav, noe som gjør at det må analyseres store vannmengder per prøve. Det fører til at man vil ha flere hundre tusen organismer i prøvene, men kun et fåtall med lakseluslarver. Å gå gjennom slike prøver manuelt med mikroskop vil ofte føre til upresise resultater (Bui et al., 2021). Automatisert morfologisk planktonidentifikasjon er utviklet for å effektivt identifisere plankton ved hjelp av bildeanalyse. Plankton fanges opp gjennom bildeopptak og analyseres enten gjennom manuell tolkning eller ved bruk av en automatisert programvare (Benfield et al., 2007). Ved bruk av maskinlæring kan datamodeller trenes til å effektivt analysere store datamengder, som da kan gi gode resultater. Dette effektiviserer prosessen for telling av lakselus, men det vil fremdeles være nødvendig å gå gjennom bildene manuelt for å kvantifisere og bekrefte antall funn.

Innen objektgjenkjenning har YOLO-serien utviklet seg til å bli et nøkkelverktøy for objekt-deteksjon i sanntid, der det har skilt seg ut for sin balanse mellom hastighet og nøyaktighet (Terven et al., 2023).

1.4.1 YOLOv8n

YOLOv8n er det nyeste objekt-deteksjonssystemet i «you only look once»-serien. Det bygger på prinsippet om rask og nøyaktig objekt-deteksjon i bilder og videoer. Menneskers evne til å gjenkjenne objekter kan være begrenset, noe som gjør det vanskeligere å identifisere ulike objekter når bildekvaliteten er lav (Terven et al., 2023). Ved å analysere bilder eller videoer av lakselus, kan YOLOv8n raskt identifisere lakselus basert på deres visuelle trekk. Med YOLOv8n som det foreløpige høydepunktet i «you only look once»-serien, demonstrerer denne utviklingen hvordan fremskritt innen teknologi ikke bare forenkler utførelsen av hverdagslige oppgaver, men også gjør det økonomisk fordelaktig å automatisere vanskelige og ressurskrevende oppgaver (Tennøe, T., 2017, s. 41.). I upublisert data er det benyttet YOLOv8n der «precision» for modellen var 0,972 for antall organismer modellen mente var lakselus og som var korrekte funn. For hvor mange lakselus i videoene modellen faktisk fant var «recall» på 0.965. Modellen som ble brukt kunne analysere over 400 bilder i sekundet i datasettet som ble brukt til testing. I denne bacheloroppgaven ble YOLOv8n benyttet som et verktøy for å identifisere lakselus nauplii i vannprøver som har blitt kjørt gjennom et flow-system.

I dette forsøket forventes det å finne lakselus nauplii på dybdene 2, 10 og 20 meter. Et forsøkt utført i bukta Fundy i Canada, fra 2012 til 2016 viser til funn av lakseluslarver på dyp fra 1-17 meter (Nelson et al., 2018). I 2013 ble det i samme studie tatt prøver fra 30 meters dyp, der det også ble påvist lakselus. Flere rapporter viser til at det er høyere konsentrasjon av

lakselus i de øvre vannlag, enn i det dypere vannsjiktet (á Norði et al., 2016; Oppedal et al., 2017; Penston et al., 2004; Frenzl, 2015). á Norði et al., (2016) har funnet lakselus fra 1-6 meters dybde og Frenzl, (2015) har funnet lakselus på 0-12 meters dyp. Begge viser til høyere funn i de øvre vannlagene på henholdsvis 1 og 2 meter. Dermed er det forventet at det vil være høyere antall lakselus og dyreplankton i det øvre vannlaget sammenlignet med dypere lag.

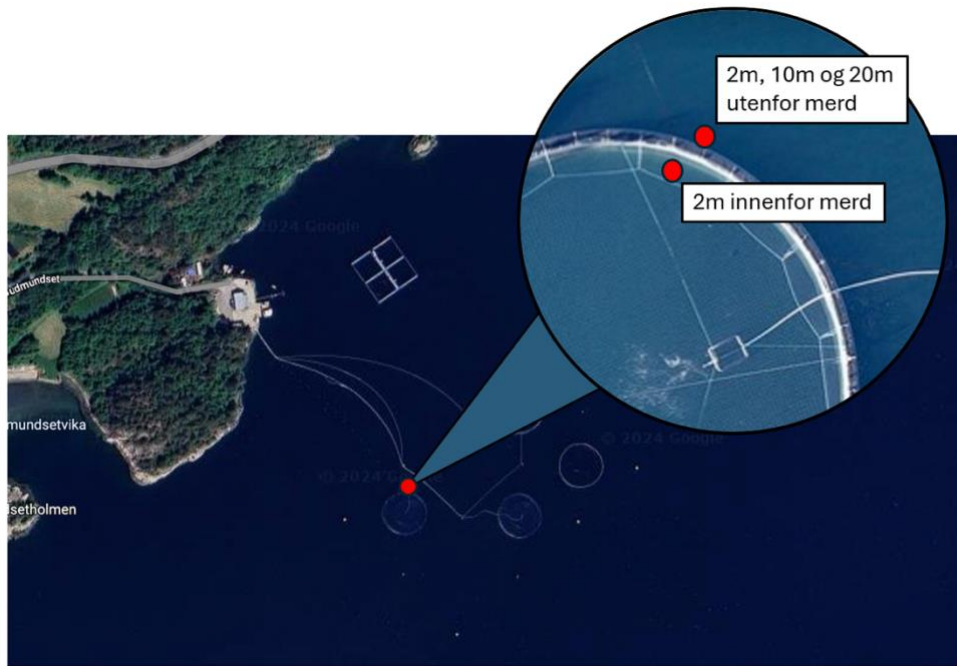
1.6 Formål

Formålet med denne casestudien er å se på den vertikale distribusjonen av lakselus nauplii og krepsdyr ved hjelp av kunstig intelligens (YOLOv8n), og vurdere modellens nøyaktighet og presisjon til å gjenkjenne nauplii.

2.0 Material og metode

2.1 Innsamling av planktonprøver

Forsøket ble gjennomført på Gudmundset, 6260 Skodje ved lokalitet 12265 (62°27'11.4"N 6°36'15.3"Ø) (Figur 3). Lokaliteten er plassert i Storfjorden, som er en terskelfjord i Møre og Romsdal. Oppdrettsanlegget er en kommersiell forskningslokalitet, der Prophylaxia AS og NTNU har lisens. Den totale tillatte biomassen på oppdrettsanlegget er 1560 tonn, der Prophylaxia og NTNU har 780 tonn hver. Under prøvetakningen var det Atlantisk laks i alle seks merder, med omtrent 150 000 laks i hver merd. Merdene er også utstyrt med et 5 meters dypt luseskjørt. Oppdrettsanlegget er i produksjonsområdet Stadt til Hustadvika.



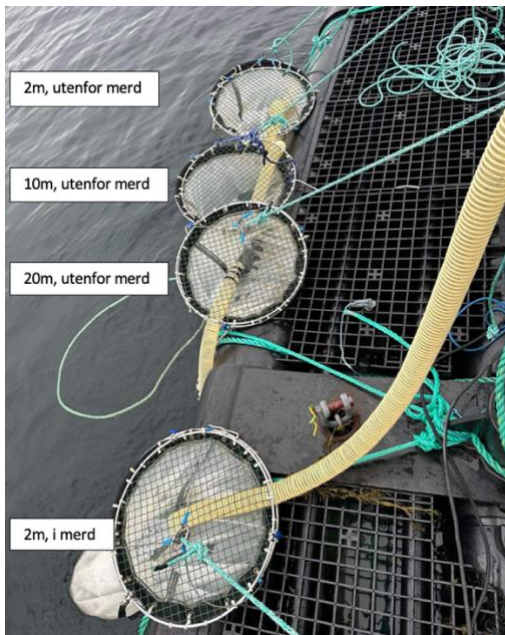
Figur 3. Satellittbilde av lokaliteten ved Gudmundset. De røde merkene viser hvor på merden pumpene ble plassert.

Forsøket ble gjennomført fra 26. februar 2024 kl.20:50 til 27. februar 2024 kl.12:10. Det ble utført ved bruk av planktonpumpe på ulike dybder og plasseringer. En pumpe på 2 meters dybde ved nota i merden, og tre pumper utenfor merden på dybde 2, 10 og 20 meter (Figur 5). Dette ble gjennomført for å få en representativ oversikt over lakselus i vannsøylen, samt se etter forskjeller i antall lus i de forskjellige dybdene. Figur 3 viser hvor forsøket ble gjennomført, og hvor inntakene til pumpene ble plassert i forhold til nota på merden.



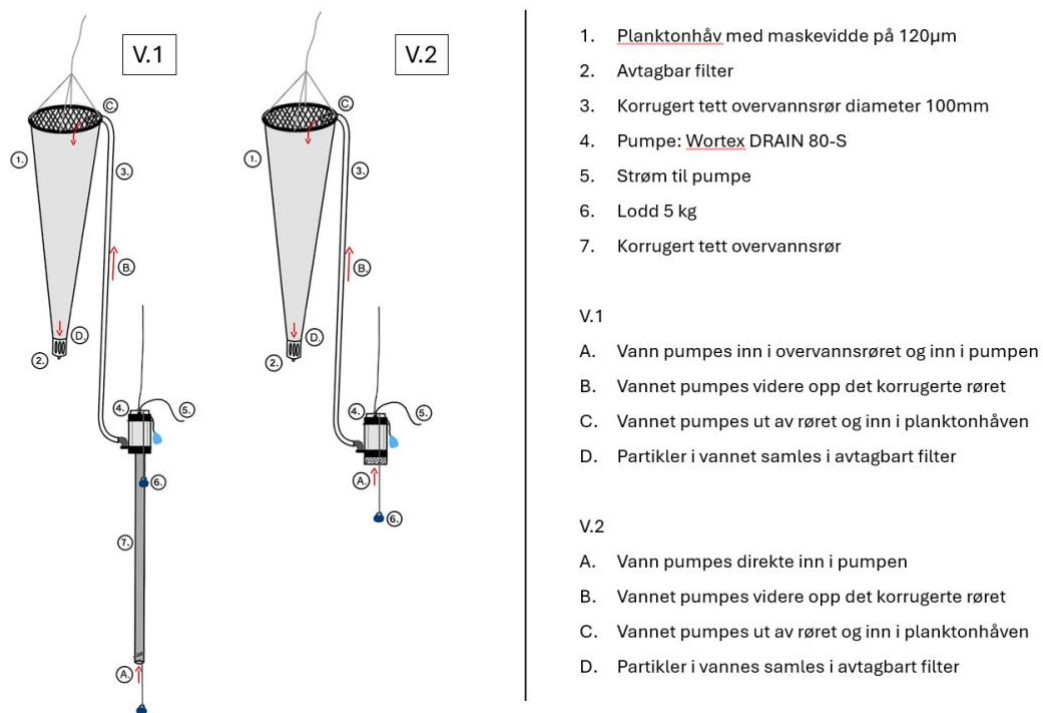
Figur 4. Skjermdump av lusekartet fra Havforskningsinstituttet i uke 9 2024. Bildet viser smittetrykket av antall smittsomme lakseluslarver på lokalitetsnummer 12265 i Møre og Romsdal. Hentet fra Havforskningsinstituttet, 2024

Lakseluskartet (Figur 4) viser at nivået lakseluslarver ved Gudmundset var på 0,215 larver per m², den 24.02.24. Fargen indikerer smittepresset av smittsomme lakseluslarver, der mørkere farge angir et større antall smittsomme lakseluslarver (copepoditter).



Figur 5. Oppsettet for innhenting av data med fire planktonhåver tilført vann via rør med pumpe på dybdene 2m (i og utenfor merd), samt 10m og 20m utenfor merd.

Innsamling av plankton ble utført ved bruk av en vannpumpe og planktonhåv. Håven var designet med et sylinderformet nett med en maskevidde på 120 µm. I bunnen av planktonhåven var det festet et avtagbart filter, noe som tillot enkel innsamling av plankton og overføring til ny beholder.



Figur 6. Grafisk framstilling av de to ulike oppsettene (V.1 og V.2) som ble brukt for å samle prøver. De røde pilene viser til hvordan vann pumpes inn i systemet og ut i planktonhåven.

Håven var utstyrt med et metallnett i åpningen som kunne løsnes og strammes. Med denne mekanismen kunne man feste et rør fra pumpen mellom nettet og håven, slik at den holdt seg der når pumpen ble skrudd på. Pumpen som ble brukt var av typen Lensepumpe wortex Drain 80-s (Varenr: MT1013840). Til hver pumpe ble det festet et rør med ulik lengde. To pumper hadde 2 meter langt rør (Figur 6, V.2), der den ene ble plassert på innsiden av merden og den andre utenfor merden. En pumpe med 10 meter langt rør (Figur 6, V.2) ble plassert utenfor merden. Den fjerde pumpen hadde et 10 meter langt korrugert rør fra pumpen til planktonhåven. I enden av pumpen ble metallnettet nederst fjernet og enda et korrugert rør på omtrent 10 meter, ble festet nederst på pumpen, som vist på figur 6, V.1. I enden av alle fire pumpene var det festet et lodd slik at pumpen holdt seg rett i sjøen på riktig dybde. Prøvene på de forskjellige dybdene ble hentet ut med to timers intervall. Under et prøveforsøk med pumpene, ble det gjennomført en flowtest for å se hvor fort pumpene fylte opp en kar på 64 L. Det var ingen løftehøyde fra overflaten til uttaket fra røret. Det tok 17 sekunder for å fylle opp karet. Disse tallene ble brukt for å regne ut krepsdyr per liter:

$$\frac{64L}{17sek} = 3,8L/sek$$

$$7200sek * 3,8L/sek = 27360L/prøve$$

$$\frac{Antall\ krepsdyr}{27360L/prøve} = krepsdyr/L$$

Ved innhenting av planktonprøvene, ble planktonhåvene skylt med sjøvann fra utsiden og inn i håven. Dette var for å sikre at det meste av partikler i håven samlet seg i det avtakbare filteret i enden av håven. Deretter ble det avtakbare filteret tatt av og innholdet ble filtrert gjennom et filter med ytre diameter 60mm og maskestørrelse 500 µm. Et beger ble holdt under grovfilteret for å ta vare på det som ble filtrert gjennom. Ved mye partikler, som fôr og feces, i prøven ble dette gjentatt to ganger. Deretter ble prøven filtrert gjennom et filter med 180 µm for å kun få med de største organismene. Det var ikke nødvendig å samle opp det resterende sjøvannet ved bruk av det fine filteret da de oppsamlede organismene i filteret var korrekt størrelse. Deretter ble sjøvann benyttet for å samle og skylle ut organismene fra filteret over i et prøverør. Prøverørene ble markert med dato, tidspunkt og dybde. Deretter ble prøvene satt på is for å bevare ferskheten.

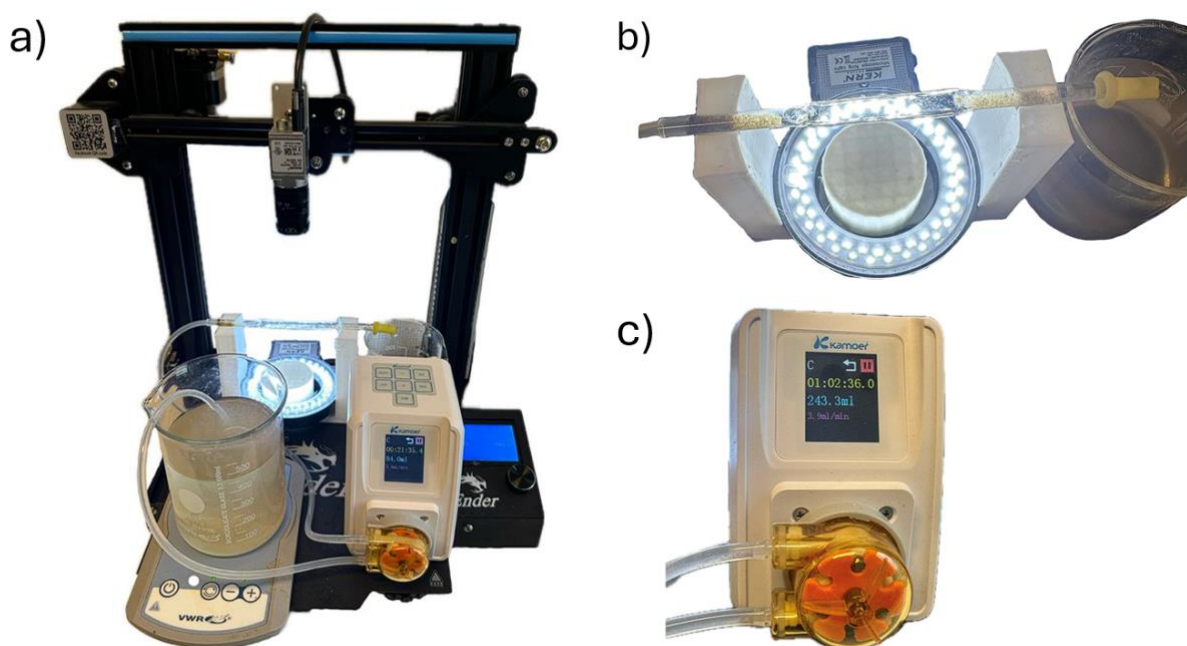
Etter prøvene var hentet opp, ble planktonhåvene plassert ut i sjøen igjen, nøyaktig slik som ved oppstart, og pumpene satt på. Pumpene gikk i to timer før neste innhenting av prøvematerialet ble gjort. Dette ble gjort til sammen syv ganger.

Før forsøket ble satt i gang, ble det gjennomført målinger av vannkvaliteten med Multiparameter Digital Water Quality Meter, på ulike dybder: 1 m, 2 m, 3 m, 8 m, 10 m, 15 m, 20 m og 22 m. Det ble målt oksygen i %, salinitet i ‰ og temperatur i °C. For å få mest

mulig korrekt resultat, ble sensoren holdt på de ulike dybdene i 60 sekunder, slik at målingene kunne stabilisere seg. Deretter ble målingene notert ned for hver dybde.

2.2 Flow-system

Ved opptak av planktonprøvene, ble det benyttet to flow-system (flow-system 1 og 2, Figur 8). Dette flow-systemet ble utviklet av tidligere Biomarin Innovasjon studenter (Strøm et al., 2023). Kameraene til flow-systemene ble koblet til samme datamaskin. På datamaskinen ble softwareprogrammet «Pylon viewer 64-bit» fra Basler benyttet. Dette for å ta opptak av prøvene, samt se de etter hvert som de ble pumpet gjennom flow cellen i sanntid. For å ha muligheten til å se dyreplanktonet på video uten overlapping ble prøvene fortynnet med sjøvann. Dette varierte fra prøve til prøve da det var ulik tetthet av organismer og partikler i prøvene. Prøvene ble fortynnet til 150 – 550 ml for de prøvene med relativ lav tetthet, mens de med høyere tetthet fra 600 – 2600 ml. Deretter ble begerglasset med planktonprøven plassert på en magnetrører som sikret at prøven ble jevnt fordelt i begerglasset gjennom hele prosessen. For å pumpe opp prøven ble det brukt en pumpemaskin av typen Kamoer M1-STP-B103 der det var festet to silikonerør. Ett rør gikk fra prøven til pumpen og ett annet rør gikk fra pumpen og ble festet i enden av flow cellen (Figur 7, C). Flow cellen som ble brukt var rund med et flatt parti på midten der det ble filmet. Høyden var 11mm utvendig og 7 mm innvendig. På motsatt side av flow cellen ble det plassert et begerglass, der prøvematerialet ble samlet opp. Pumperaten på flow-system 1 var på 8,0 ml/min, mens pumperaten var 4,0 ml/min på flow-system 2. Under flow cellen ble det plassert en KERN optics mikroskope ring LED-light 12V. Lysstyrken ble satt på maks, som var 100 000 lux for flow-system 1 og 28 000 lux for flow-system 2, for å sikre optimal kvalitet og skarphet på opptaket. Kameraet tok deretter opptak av prøvene etter hvert som de ble pumpet gjennom systemet. Det ble tatt 25 bilder i sekundet.



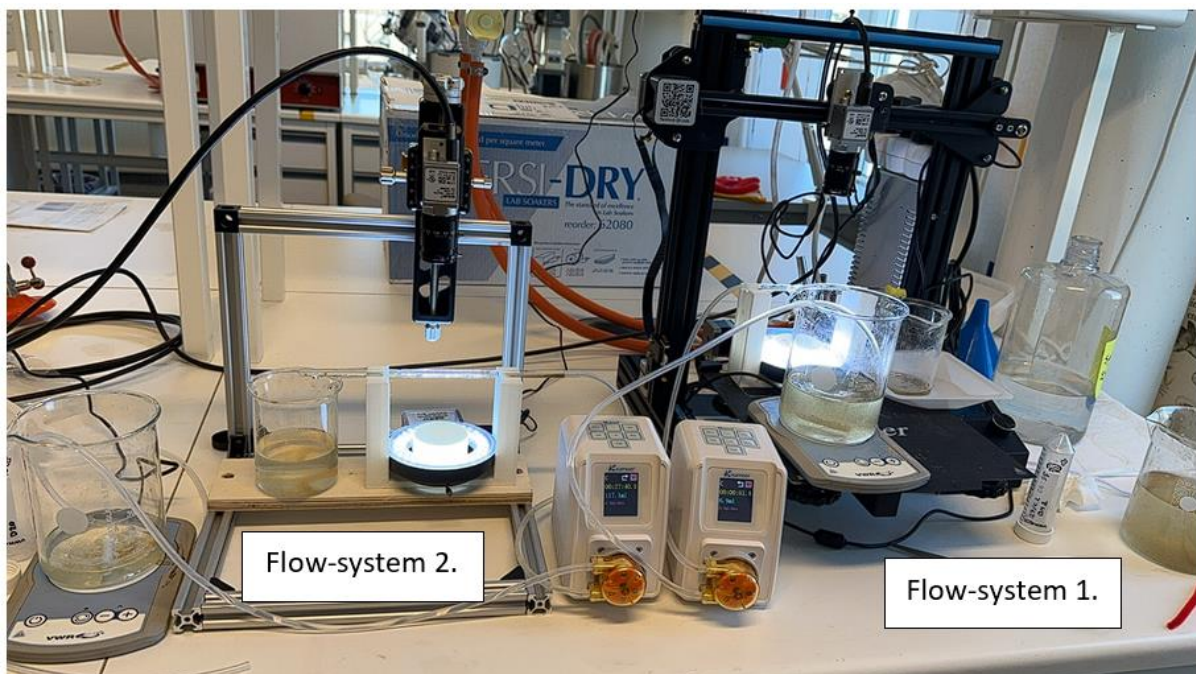
Figur 7. Oversikt over flow-system 1 og elementene i systemet. a) Videoriggen til flow-systemet. b) Flow cellen med mikroskope ring light under for å lyse opp partiklene i flow cellen. c) Kamoer M1-STP Intelligent peristaltic pump.

Flow-system 1

På programmet Pylon viewer 64-bit ble innstillingene på acquisition framerate satt til 25.0 og exposure time til 250.0. Inne på record settings stod output format på MP4. Set fixed playback speed ble satt på 25.0 fps, og record a frame every 40 millisekund. Det ble laget en egen mappe på datamaskinen der de ønskede videoene ble lagret. Denne ble valgt som output folder.

Flow-system 2

Innstillingene for flow-system 2 var stort sett lik som ved flow-system 1, med unntak fra exposure time, som var endret til 300-400, på grunn av lavere lysintensitet.



Figur 8. Oppsettet for flow-system 1 og 2.

Begerglassene, flow cellen og rørene som gikk fra pumpen ble skylt med sjøvann mellom hver prøve. Deretter ble antall krepsdyr i hver prøve telt ved hjelp av lupe. Prøvene ble fortynnet med saltvann til konsentrasjonen av krepsdyr i prøvene var mulig å telle. Prøvene ble satt på en magnetrører for å sikre at uttakene med pipette ble så jevn og representativ som mulig. Det ble så brukt pipette til å ta ut 1 ml fra prøven som ble overført til et observasjonskammer. Det ble brukt 4 kammer med 1 ml prøve i hvert kammer, tilsvarende 4 ml. Det ble så brukt lupe til å telle antall krepsdyr i hvert kammer ved hjelp av en manuell håndteller. Dette ble utført med alle prøvene.

2.3 Identifikasjon av lakselus med YOLOv8n

For å kartlegge og finne lakselus i de oppsamlede prøvene, ble automatisk bildegjenkjenning og kunstig intelligens i form av programvaren YOLOv8n benyttet. YOLOv8n ble anvendt på prøvene som var kjørt gjennom flow-systemet og filmet. Det ble gjennomført to runder av gjennomkjøringen, der innstillingene ble satt til henholdsvis 60 % nøyaktighet og 10 % nøyaktighet slik at systemet klippet ut alle bilder der den var 60 %/10 % sikker på identifikasjon av lakselus. Bildene ble automatisk arkivert i en mappe og gjennomgått manuelt for å verifisere om det var lakselus som var identifisert. Deretter ble antall positive funn telt. Programvaren var i stand til å ta 25 bilder i sekundet. Dermed kunne en to sekunders passasje av lakselus i teorien medføre 50 utklipp av samme lus.

For å analysere videoene fra flow-systemet med YOLOv8n-modellen, ble programmet Python benyttet. For å starte Python script ble terminal brukt. I terminal ble koblingen til mappen eller filen med videoer, hvilken nøyaktighet (confidence threshold) modellen skulle ha og hvor resultatene skulle arkiveres limt inn.

2.4 Manuell gjennomgang av videoer

Tettheten av prøvene ble målt ved å telle antall partikler og organismer på fem tilfeldige bilder i hver video. Ett fra begynnelsen av videoen, tre i midten og ett på slutten. Alle partikler og organismer ≤ 2 mm ble telt. Arealet av bildet var 160 cm². Antall partikler funnet i hver video ble summert sammen før gjennomsnittet ble funnet.

Alle partikler og organismer KI-modellen identifiserte som lakselus ble lagt i en mappe, og gjennomgått manuelt for å bekrefte eller avkrefte funnene. Ved funn av lus ble dybden, tidspunkt på dagen og tidsstempelet da lusa ble identifisert på opptaket notert. I tillegg ble det dokumentert antall ganger modellen identifiserte lusa fra den kom inn i bildet på videoen til den var ute av bildet. Det ble notert hvordan lusa så ut da den ble registrert av modellen og hvordan den så ut de gangene modellen ikke identifiserte den. Det vil si om den var omringet av andre organismer og partikler eller om den lå fritt i prøven.

For å teste nøyaktigheten til modellen, ble det gjort en manuell telling gjennom prøven tatt 27. februar kl.12:10 på 2 meters dyp utenfor merden. Dette ble gjort for å se etter eventuelle lus som modellen ikke hadde identifisert. I tillegg ble det gjennomgått 40 ml manuelt av prøvene med lavest og høyest tetthet av partikler og organismer, samt prøven som ble filmet samme dag som prøvetakingen, og prøven som ble filmet 8 dager etter forsøket. Dette tilsvarte 10 minutter av videoen med lavest tetthet av partikler og organismer og 5 minutter av de resterende videoene.

2.5 Behandling av data

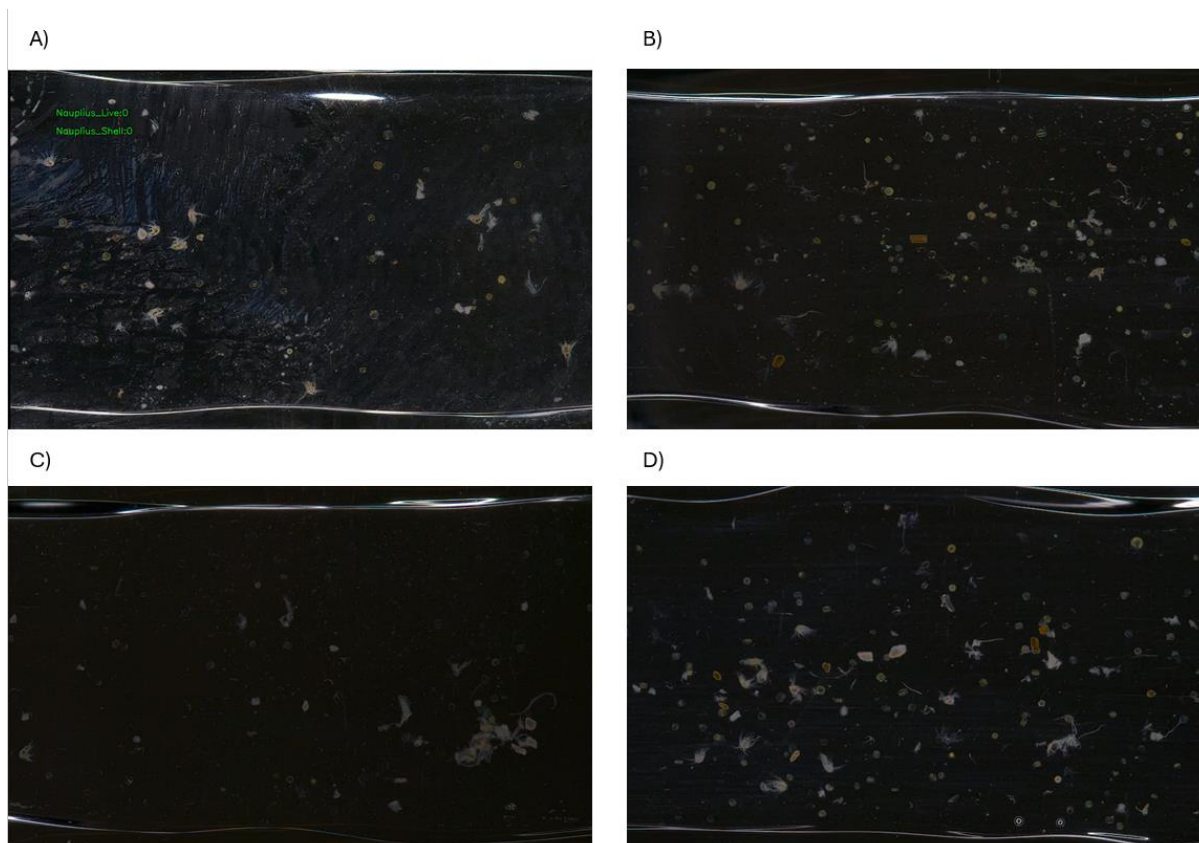
Etter endt telling, analysering og filming, ble all rådata framstilt i tabeller i Excel. Gjennomsnitt av antall krepsdyr i prøvene, tetthet av partikler og organismer, samt antall nauplii/m³ og krepsdyr/m³ ble regnet ut.

3.0 Resultat

3.1 Manuell telling og identifikasjon av nauplii

Figur 9 viser fire ulike skjermdumper av videoer. Bilde A er fra opptak av prøven som ble tatt 20:50 ved 2 meter dyp utenfor merd. Denne prøven ble kjørt gjennom flow-systemet 1 og filmet innen én time etter innhenting av prøven. Opptaket viser at flow cellen ikke var tilstrekkelig vasket noe som førte til mindre klarhet på videoen. Bilde B er fra prøven tatt ved tidspunkt 12:10 ved 10 meter dyp utenfor merd. Denne prøven ble 8 dager gammel før den ble filmet med flow-system 1. Grunnet sent opptak av prøven, gikk partikler og organismer i oppløsning. Dette førte til mange små partikler og tomme skall av organismer. Generelt var det lite med klumping av organismer. Bilde C er fra kl. 23:43 ved 20 meter dyp utenfor merd, og var den videoen med lavest tetthet organismer og partikler. Videoen ble filmet ved bruk av flow-system 2. Bildet C er mindre skarpt og partiklene fremstår derfor mindre tydelig enn på bilde A, B og D. Bilde D er fra prøven tatt kl. 02:10 ved 10 meters dyp utenfor merd, og er den videoen med høyest tetthet av organismer og partikler. Videoen er filmet med flow-system 1. Skjermdumpen viser god kvalitet, uten mye overlapping av partikler og organismer selv om konsentrasjonen er synlig høyere enn bilde A, B og C.

Det ble ikke identifisert lakselus nauplii på noen av de manuelle tellingene som ble utført.



Figur 9. Sammenligning av ulike videoer. A) Prøven som ble filmet samme dag som forsøket ble utført B) Prøven som ble filmet 8 dager etter forsøket ble utført C) Lavest tetthet av partikler og organismer D) Høyest tetthet av partikler og organismer.

Den gjennomsnittlige tettheten av antall partikler/organismer ≤ 2 mm i planktonprøvene varierte i stor grad. Den laveste tettheten var på videoen med prøven tatt kl. 23:43 på 20 meters dyp. Her var det gjennomsnittlige antallet partikler/organismer i bildet 71. Den høyeste tettheten ble dokumentert i videoen av prøven tatt kl. 02:10 på 10 meters dyp, der det gjennomsnittlige antallet partikler/organismer var 157,6.













Tabell 1. Gjennomsnittlig tetthet av organismer/partikler ≤ 2 mm per bilde i planktonprøver.

	DM2	D2	D10	D20
20:50	85.8	116.2	145.6	118.4
23:43	141.6	127.2	114.8	71
2:10	55,2	108,8	157,6	107,6
4:30	110.8	88.8	132.4	100.6
6:55	126.8	105	99.4	84.4
9:25	150.2	111.2	157	118.2
12:10	92.6	100.2	78	86.2

Lakselusa som ble identifisert av modellen ble ikke nødvendigvis identifisert i alle bildene i videoen der den var synlig. Tabell 2 viser en sammenligning mellom 6 lakselus nauplii, der tredje kolonne er bilder KI-modellen har identifisert av lusa, og fjerde kolonne er skjermbilde fra den samme lusa da modellen ikke har identifisert den. Med unntak av lus nr. 4 som ikke

ble identifisert av modellen, ligger alle andre lus fritt og overlapper ikke med andre organismer/partikler. Generelt var det bedre kvalitet på lusa som ble identifisert, sammenlignet med dem modellen ikke klarte å registrere. Bildene av de ikke identifiserte lusene hadde mindre piksler og var mer kornete. Modellen identifiserte flere lakselus i prøvene som ble tatt kl. 20:50 og kl. 23:43.

Tabell 2. Skjermdump av nauplii larver fra opptak. Kolonne 1 er bilder KI-modellen har tatt bilde av. Kolonne 2 er av samme lus fra kolonne 1, men der modellen ikke har tatt bilde. DM2 = dybde 2 meter i merd. D2 = dybde 2 meter utenfor merd. D10 = dybde 10 meter utenfor merd. D20 = dybde 20 meter utenfor merd.

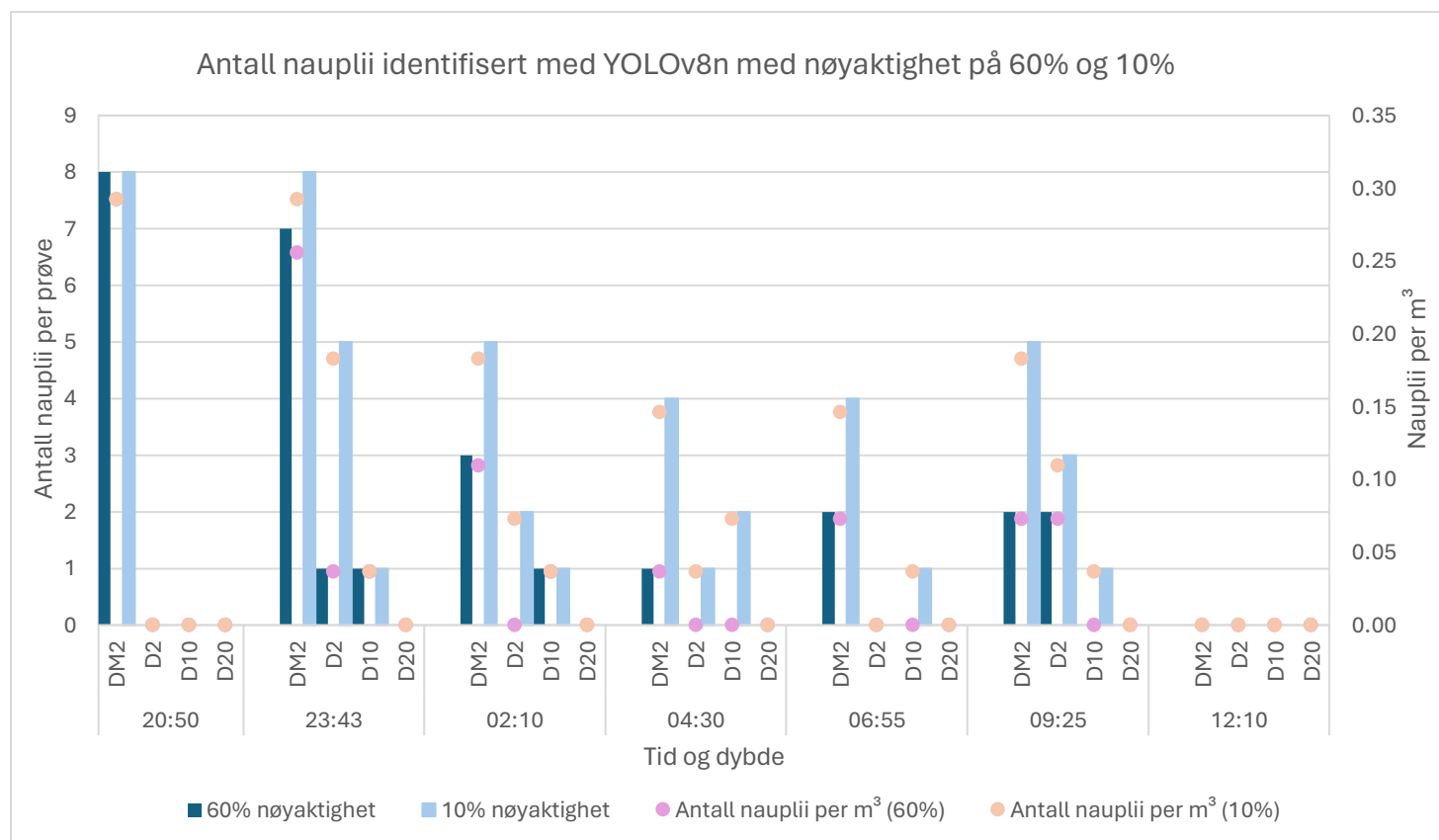
	Dato/tid/dybde	1. Identifiserte lus av YOLOv8n	2. Ikke identifiserte lus av YOLOv8n	Antall identifiseringer av YOLOv8n (10 % nøyaktighet)
1	26.02/20:50/DM2			13
2	26.02/20:50/DM2			16
3	27.02/02:10/D10			2
4	27.02/04:30/DM2			1
5	27.02/06:55/DM2			2
6	27.02/09:25/D2			7

3.2 Vertikalfordeling

3.2.1 Funn av lakselus

Figur 10 viser antall nauplii identifisert med KI-modellen YOLOv8n med nøyaktighet 10 % og 60 %. Ved flere tidspunkt og dybder ble det identifisert lus med kun 10 % nøyaktighet (2 meters dybde kl. 02:10 og 04:30, samt 10 meters dybde kl. 04:30 og 06:55), som ikke ble identifisert med 60 % nøyaktighet. Totalt ble det identifisert 28 lakseluslarver med YOLOv8n med nøyaktighet på 60 %, mens med nøyaktighet 10 % ble det identifisert 23 flere nauplii. Totalt ble det funnet 51 nauplii med 10 % nøyaktighet.

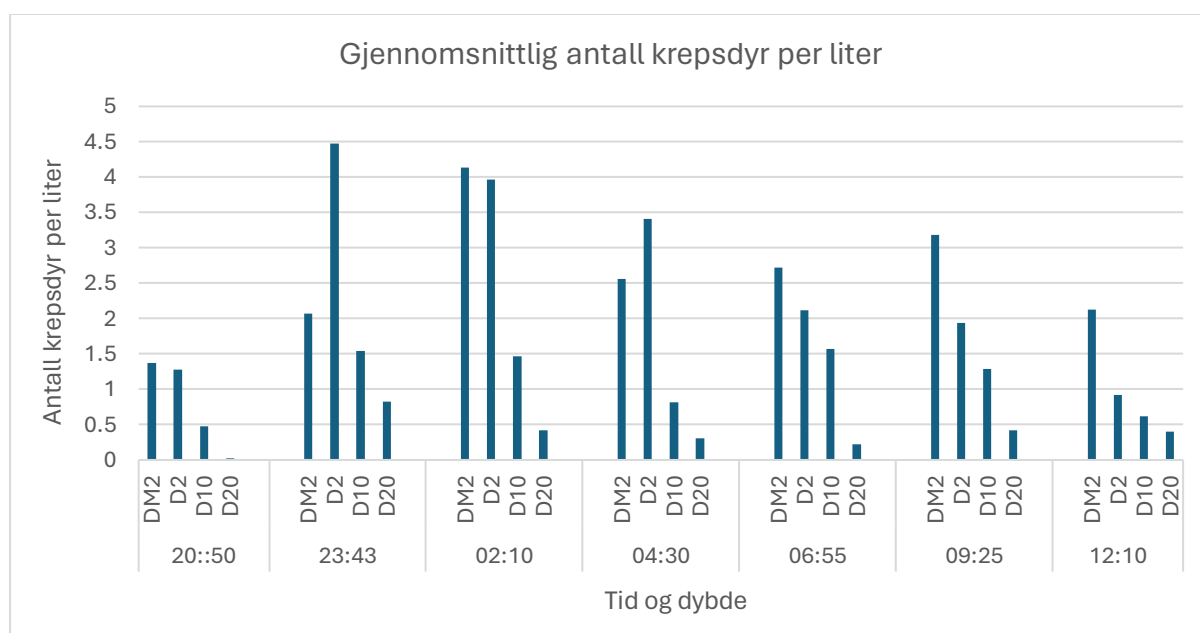
Av all identifisert nauplii, ble 88 % funnet på 2 meters dybde i og utenfor merd (45 nauplii), der 34 ble funnet på innsiden av merden og 11 utenfor merden. 12 % av totalen nauplii ble funnet ved dybden 10 meter. Ingen nauplii ble identifisert ved 20 meters dybde. Det ble i gjennomsnitt identifisert 0,18 nauplii/m³ på 2 meters dybde i merd gjennom hele forsøket. Til sammenligning ble det identifisert 0,06 nauplii/m³ ved 2 meters dybde utenfor merd. Ved 10 meters dybde utenfor merd ble det identifisert 0,03 nauplii/m³.



Figur 10. Nauplii som har blitt identifisert med KI-modellen YOLOv8n med treffsikkerhet på 60 % og 10 % ved de ulike dybdene og tidspunkt. Figuren viser antall nauplii per prøve og nauplii per m³. DM2 = dybde 2 meter i merd. D2 = dybde 2 meter utenfor merd. D10 = dybde 10 meter utenfor merd. D20 = dybde 20 meter utenfor merd.

3.2.3 Funn av krepsdyr

Generelt ble det funnet mer krepsdyr per liter i overflaten enn dypere i vannsøylen. Det ble observert mest krepsdyr kl. 23:43 på 2 meter utenfor merd. Minst krepsdyr ble dokumentert kl. 20:50 på 20 meters dybde. Det var en synkende trend i antall krepsdyr fra kl. 23:43 til kl. 12:10. Figur 11 viser til forskjeller i antall krepsdyr per liter ved ulike dybder og ulike tidspunkt. Det var betydelig mer krepsdyr på 2 meters dybde sammenlignet med dybdene på 10 meter og 20 meter.



Figur 11. Gjennomsnittlig antall krepsdyr per liter på dybde 2 m (i og utenfor merd), 10 m og 20 m utenfor merd. DM2= dybde 2 meter innenfor merd. D2= dybde 2 meter utenfor merd. D10= dybde 10 meter utenfor merd. D20= dybde 20 meter utenfor merd.

3.3 Miljømålinger

Vannkvalitetsmålingene ble målt for å se på salinitet, temperatur og oksygenmetningen i vannet ved oppdrettsmerden (Tabell 3). Temperatur og salinitet var relativt jevnt i vannsøylen. Ingen haloklin i oppdrettsanlegget fra overflaten til 22 meter. Oksygenet hadde en synkende trend fra 1 m-22 m.

Tabell 3. Vannkvalitetsmålinger på ulike dybder.

Dybde	1m	2m	3m	8m	10m	15m	20m	22m
Salinitet	31,41‰	31,58‰	31,80‰	32,02‰	32,06‰	32,14‰	32,24‰	32,31‰
Oksygen	90,60 %	90,20 %	89,20 %	87,90 %	86,40 %	83,80 %	84,80 %	85,70 %
Temperatur	5,2°C	5,3°C	5,3°C	5,3°C	5,4°C	5,4°C	5,5°C	5,5°C

4.0 Diskusjon

4.1 Innsamling og behandling av planktonprøver

I denne studien ble det brukt planktonhåv og pumper plassert på ulike dyp i og utenfor merd til å samle prøver. Plasseringen av håvene og pumpene krever kompetanse om strømforholdene i og rundt merden. Strømforhold kan påvirke hvor effektivt pumpen samler inn ønsket materiale da sterk strøm kan føre plankton og lakselus bort fra pumpen og motsatt. Riktig kunnskap om forholdene sikrer en større sjanse for å samle inn representativt og ønsket materiale. I dette tilfellet ble det brukt lodd til å holde både pumpe og rør mest mulig loddrett i sjøen. Dette for å sikre at pumpene var ved riktig dybde, noe som var sentralt for å få representativt med data.

Plassering av pumpen i merden var inntil noten, ideelt burde pumpen vært plassert mer sentralt i merden. Laksen danner som regel et sirkulært svømmemønster og unngår både den innerste delen av merden og ytterkantene i noten. Lusa vil posisjonere seg der flertallet av laksen befinner seg (Oppedal et al., 2011; Oppedal et al., 2017). Ved å plassere pumpen der laksen og lusa hovedsakelig oppholder seg vil det kunne gi en mer representativ prøve (Oppedal et al., 2011).

Til videre forsøk ville det vært ideelt å ta flere prøver på samme tidspunkt ved samme lokalitet for å kunne sammenligne resultater. Innsamlingsperioden gikk over 17 timer fra klokken 20:50 til 12:10. For videre forskning ville det vært hensiktsmessig å ta prøver i 24 timer ved flere ulike døgn. Dette for å innhente nok data til å utføre statistiske analyser, samtidig som risikoen for tilfeldige resultater minimeres.

4.1.1 Filtrering og tetthet av planktonprøver

Ved innhenting av planktonprøver med pumpe vil man plankton i alle størrelser, derfor var det nødvendig med filtrering av prøvene. Størrelsen på nauplius varierer fra 188 til 620 μm , dermed ble det samlet inn plankton innen disse målene. Prøvevolumet blir større med mer partikler og organismer i prøven. Dette fører til lengre videotid, flere bilder i video samt lengre analysetid. Derfor vil det å filtrere vekk det meste av partikler med uønsket størrelse være hensiktsmessig slik at prosessen blir mindre tidkrevende.

Det oppstod problemer rundt filtreringen av prøvene på merdkanten. Dette grunnet høyt innhold av partikler, deriblant fôr og feces, som tettet filtrene. Problemet var spesielt bemerkelsesverdig ved 20 meters dybde. Diameteren på grovfilteret (500 μm) som ble

benyttet under forsøket var derimot relativt liten. Dette økte sjansen for overlapping av partikler og organismer. Til tross for at prøvene med høy tetthet ble filtrert to ganger, var det fremdeles en sjanse for at organismer som teoretisk sett kunne passere filtrerne, ble holdt tilbake. Selv om det er mulig at det var lite til ingen lakselus på 20 meters dybde, kan dette være en årsak til manglende funn av nauplii på denne dybden. Alternativt kunne det blitt brukt et filter med større diameter for å minimere denne risikoen.

Flow-system

Det ble brukt ulike innstillinger på Pylon Viewer 64-lit for de to ulike flow-systemene. Dette grunnet betraktelige store forskjeller i lysintensitet på de to lysringene. På flow-system 2 var lysstyrken på 28 000 lux, mens på flow-system 1 var den over 100 000 lux.

Lukkerhastigheten måtte dermed justeres opp for å kompensere for den svekkede lysintensiteten. Som følge av dette måtte pumpehastigheten forringes ved flow-system 2. Et resultat av disse innstillingene var mer kornete bilder, sammenlignet med flow-system 1 (Figur 9).

Fortynningen før gjennomkjøringen i flow-systemet var et anslag basert på visuell observasjon og konsentrasjonen av organismer/partikler varierte derfor fra prøve til prøve (Tabell 1). Grunnet tilfeldige utvalg bilder ved telling av partikler, vil tettheten være et omtrentlig estimat. Selv om det var en standardisert plan for hvor i videoen bildene ble tatt, var det fremdeles vilkårlig hvilke bilder som ble det representative utvalget. Om den reelle tettheten var lav eller høy vil dermed kunne variere i hver enkelt video. Sammenligningen av videoen med lavest og høyest tetthet viste ingen store forskjeller. Videoen med lavest tetthet var derimot mer uklar, noe som høyst sannsynlig er en konsekvens av at den ble filmet med flow-system 2, der lysintensiteten var svakere. Om tettheten var lav kunne det fremdeles oppstå situasjoner der flere organismer samt partikler klynget seg sammen. Ved høy tetthet var også sjansen for flere sekunders passasje med relativt lite klynger en mulighet. Hvor i videoen lakselusa befant seg var dermed vesentlig for hvorvidt den ble identifisert, enten manuelt eller ved hjelp av KI-modellen.

Sammenligner man resultatene fra tettheten av partikler/organismer i videoene med funn av antall nauplii er det ingenting som tilsier noe effekt av tetthet. Det var 55,8 partikler/organismer som skilte prøvene tatt kl. 20:50 og kl. 23:43 på 2 meters dybde i merd. Likevel ble det identifisert like mange nauplii i disse prøvene. Dermed var tettheten mest sannsynlig lav nok til at det ikke var mye overlapp mellom partikler/organismer gjennom alle bilder som et objekt var i.

4.2 Kunstig intelligens - manuell telling og identifikasjon av nauplii

For å teste nøyaktigheten til KI-modellen ble én video telt manuelt. Dette var prøven tatt kl. 12:10 på 2 meters dyp utenfor merden. I denne prøven ble kun ett bilde identifisert av YOLOv8n på 60 % nøyaktighet der identifisering var en falsk positiv. Denne prøven ble valgt da dette var det eneste tidspunktet uten identifikasjon av lus. I tillegg var det forventet å

finne lus på dybde 2 meter, da 88 % av identifiserte lus ble funnet på denne dybden. Det ble ikke identifisert lus verken den manuelle gjennomgangen eller med YOLOv8n.

For å bedre teste troverdigheten og nøyaktigheten til KI-modellen kunne det blitt utført manuelle tellinger på alle videoene. Siden dette er en svært tidkrevende og omfattende prosess, ble det kun utført én manuell gjennomgang av en hel video. 40 ml av videoen med høyest tetthet ble sett gjennom manuelt for å se om tetthetsgraden hadde påvirkning for resultatet fra modellen (Figur 9). Det ble ikke identifisert flere nauplii enn hva modellen hadde funnet. Det var derimot en god del mer partikler i bildet og gjennomgangen var derav mer krevende. Flere partikler i videoen kan føre til at lus ikke ble identifisert verken ved den manuelle tellingen eller ved gjennomkjøringen i KI-modellen.

Rapporten fra Bui et al., (2021) viser til utfordringer med bildegjenkjenning av nauplii og copepoditter ved bruk av FlowCam. Disse utfordringene er noe som også oppsto i dette forsøket. Klumping og overlapping av større organismer og nauplii har gjort det utfordrende å identifisere manuelt og med KI-modellen. I de større klumpene med organismer, har det vært svært utfordrende å skille mellom organismer. Dette kunne teoretisk sett resultert i mangel på identifisering av lus. I prøven tatt ved tidspunkt 04:30 dybde 2 meter i merd, ble det funnet en lus ved 10 % nøyaktighet der KI-modellen identifiserte den med kun ett bilde. Dette kunne vært et resultat av overlapping med en større organisme samt redusert kvalitet på videoen (Tabell 2).

Forskjeller mellom KI-modellen med nøyaktighet på 10 % og 60 % kan begrunnes med at det ble gjort et aktivt valg i treningen av YOLOv8n om å ikke annotere lakseluslarver som overlappet eller lå sammen med andre organismer og partikler. Grunnen for dette var å forhindre modellen i å forveksle andre organismer med lakseluslarver og begrense mengden med falske positive identifiseringer. Antallet falske positive identifiseringer økte når nøyaktigheten til YOLOv8n ble redusert fra 60 % til 10 % (Vedlegg 1). Lus 2 i tabell 2 ble gjenkjent 16 ganger av KI-modellen. Mangelfull rengjøring av flow cellen kunne ført til at lusa ikke ble identifisert mot slutten av passasjen. Andre utfordringer som kunne skapt problematikk rundt gjenkjenningen av nauplii er anterior og posterior vinkling på lusa.

Annoteringene av nauplii som er brukt i treningssettet, er hovedsakelig fra de samme videoene. I disse videoene har det blitt brukt like kamerainnstillinger og like forhold i planktonprøvene. Dette gjør at treningssettet får et homogent innhold bilder av nauplii. Når dette settet brukes på videoer som avviker fra disse bildene, resulterer det i at modellen blir mindre sikker på hva som er lus og ikke. En konsekvens av dette er flere falske positive og mangel på bildegjenkjenning av nauplii. For videre opplæring av YOLOv8n, må det annoteres nauplii fra videoer med ulike innstillinger og forhold. Dette kan være ulik klarhet, tettet, ferskhet på prøver, lysstyrke og pumpehastighet på flow-systemet for å få et mer mangfoldig treningssett.

Per dags dato har modellen omtrent 10 000 bilder av nauplii registrert i treningssettet som den bruker til bildegjenkjenning av nauplii. Antall bilder som er optimalt i et treningssett kan

være vanskelig å anslå. Ved flere brukere av modellen, kan det være gunstig å lage et mer generalisert treningssett, der det tas forbehold av ulike faktorer som kan spille inn på den automatiske identifiseringen av nauplii. Dette skyldes at ulike brukere har forskjellig tilnærming til innstillinger og forhold som ikke har en konkret fasit, eksempelvis fortykning av prøver og pumpehastighet.

Ut fra resultatene ble det identifisert 23 mer nauplii med 10 % nøyaktighet sammenlignet med 60 % nøyaktighet. Samtidig var flere av lusene som kun ble identifisert på 10 %, relativt like andre lus som ble identifisert på 60 %. Lusa på videoene fra dette forsøket kan se annerledes ut enn bildene som YOLOv8n er trent med, samtidig som bakgrunnen på bildene og utseende på planktonet kan ha påvirkning for gjenkjenningen. Hvis bildene er noe ulikt det modellen er trent med, vil dette kunne være en årsak til manglende identifiseringer på videoene.

Et problem under den manuelle bildesjekken fra KI-modellen var at den ofte identifiserte luftbobler og kanten på flow cellen som nauplii. Dette gjorde prosessen for gjennomgang av bildene mer tidkrevende. Dette problemet oppsto ved 60 % nøyaktighet, men ble et større problem ved 10 % nøyaktighet. Mappen for identifiseringer av modellen varierte fra 1 bilde til 220 000 bilder, der de fleste bildene besto av luftbobler.

4.3 Vertikalfordeling av lakselus og krepsdyr

For å framstille den omtrentlige konsentrasjonen av nauplii i området i og utenfor merden, ble det i dette tilfellet brukt en hypotetisk kalkulasjon. I følge Barentswatch var det 0,27 voksne hunnlus per fisk i uke 9 (*Barentswatch*, 2024) og det var omtrent 150 000 laks i en merd. Ved lokaliteten på Gudmundset var det totalt 6 merder der alle inneholdt laks. Hvis 0,5 % av de voksne hunnlusene slipper ut 100 egg fra hver eggstreng, vil dette bety at det slippes ut 200 egg per lus. Disse tallene vil utgjøre det hypotetiske antallet nauplii ved lokaliteten ved Gudmundset:

$$0,27 * 150000 = 40500 \text{ voksne hunn lus i én merd}$$

$$40500 * 6 = 243000 \text{ voksne hunn lus ved lokaliteten}$$

$$243000 * 0,05 = 12150 \text{ lus som slipper ut egg}$$

$$12150 * 200 = 2430000 \text{ nauplii}$$

Under ideelle forhold der alle 0,27 voksne hunnlus hadde sluppet alle eggene samtidig, kunne det hypotetisk sett vært 2 430 000 nauplii ved lokaliteten. Ulike miljømessige parametere vil derimot ha en påvirkning på konsentrasjonen av nauplii. En artikkel fra Asplin et al., (2004) viser til betydelig variasjon i bevegelse knyttet til havstrømmer og

utslippstidspunkt. Temperatur og salinitet vil også ha en betydning for hvor nauplii befinner seg (Dalvin & Oppedal, 2019). Hypotetisk estimert vil antallet derfor høyst sannsynlig være mye lavere.

Det ble funnet 0,18 nauplii/m³ på 2 meters dybde i merd og 0,06 nauplii/m³ på 2 meters dybde utenfor merd. Resultatene fra Jevne et al., (2021) viser til at funnene gjort i dette forsøket høyst sannsynlig er reelle, og at antall identifiserte nauplii stemmer overens med konsentrasjonen nauplii i sjøen på vinterstid. Mulige vurderte feilkilder har sannsynligvis ikke utgjort betydelige forskjeller i resultat. Selv med lite kvanta data, betyr dette at funnene samsvarer med forventingene fra forsøket.

Lakselusa er følsom ovenfor ulike miljømessige elementer som oksygen, temperatur og salinitet (I. Johnsen et al., 2014). Temperaturen var stabil på rundt 5 °C noe som tilsvarer 1 °C under den ønskede temperaturen for utvikling hos lakselus (Hamre et al., 2019). Temperaturen under forsøket kan ut ifra denne informasjonen sinke veksten hos lakselus noe, men ikke i betydelig. I en rapport fra Havforskningsinstituttet er det dokumentert at de fleste lakselus nauplii foretrekker en salinitet på 30-35 ‰ (Dalvin & Oppedal, 2019). Saliniteten var dermed ikke en avgjørende faktor for hvor i vannsøylen nauplii ble observert, da den var stabil på rundt 32 ‰. Siden vannkvalitetsmålingene ikke hadde betydelige forskjeller i salinitet, oksygen og temperatur vil det viktigste for atferden til lakselusa være fototaksis, vertikale vannmigreringer og/eller havstrømmer. Tidligere forskning viser til at spesielt copepoditter, som er fototaksis, driver vertikalvandring (Hagemann et al., 2024). Det er derimot lite data på bevegelser til dypere vannlag. Andre artikler refererer nauplii som negativ fototaksis (Nelson et al., 2018). Ser man på resultatene fra dette forsøket er det flest lakselus på 2 meters dybde under dagslys, mens det blir en mer jevn fordeling om natten. Resultatene gir derimot ikke tydelige svar da forsøket kun ble utført én gang, i en 17 timers periode. Skulle det blitt konstatert at nauplii viste tendenser, eller var positiv fototaksis, måtte det blitt tatt flere prøver over en større tidsperiode.

Det ble observert lakselus på 2 og 10 meters dybde under forsøket. Det var imidlertid også forventet å finne lakselus på 20 meters dybde. Et forsøk utført i bukta i Fundy, Canada viser til funn av nauplii på 30 meters dyp (Nelson et al., 2018). Dette forsøket var derimot mer omfattende og langvarig. Sammenlagt ble det tatt 1527 prøver der det ble funnet 1432 nauplii totalt. Naturligvis er forholdene i Canada annerledes enn forholdene i Norge. Forsøket var i tillegg utført i en relativ grunn bukt noe som også har påvirkning på resultatene. Strømforholdene og økosystemet i fjorden på Gudmundset vil avvike fra forholdene i Fundy, Canada. Det vil derfor ikke være usannsynlig at det ikke ble gjort funn av lakselus på 20 meters dybde. Et annet forsøk fra 2015 utført av Frenzl, viser til at konsentrasjonen av lakseluslarver stuper betraktelig fra 6 meters dybde. Siden konsentrasjonen blir lavere lengre ned i vannsøylen, vil sannsynligheten for funn av nauplii på 20 meters dybde minskes.

Flest lus (88 %) ble identifisert på 2 meters dybde i og utenfor merd. Dette samsvarer med at lakselus ofte observeres høyt i vannsøylen nær overflaten (á Norði et al., 2016; Oppedal et al., 2017; Penston et al., 2004; Frenzl, 2015). Merden der forsøket ble gjennomført var utstyrt

med et 5 meter dypt luseskjørt. Tidligere forskning dokumenterer til god beskyttelse ved bruk av en slik metode (Barrett, Oppedal, et al. 2020b). Ulempen er at lakselus som klekkes inni merden kun kan forlate merden i dybder fra 5 meter og dypere. Dette kan være en årsak til at 67 % av de identifiserte lusene ble funnet på 2 meters dybde på innsiden av merden. Lus som ble funnet på 10 meters dybde kan bli tatt med havstrømmer og inn i merden som et resultat av det grunne luseskjørtet. På grunn av manglete data mellom 10 meter og 20 meter vil det være strategisk å ha et luseskjørt om går lengre ned enn 10 meter. Dette gjelder både for lokaliteten ved Gudmundset, men også generelt for oppdrettsanlegg. Ved bruk av dypere luseskjørt, vil det naturligvis føre til økt beskyttelse mot lakselus, men samtidig vil gjennomstrømningen av vann i merden bli betraktelig redusert. Effektiviteten ved bruk av luseskjørt er lokalitetsavhengig grunnet lokale strømforhold. På grunn av redusert vannutskifting, vil skjørtet føre til lavere oksygenmetning der avskjermingen er, og kan føre til tap av tilvekst.

Det var forventet å finne lakselus på alle dybdene under forsøket. All data som ble innsamlet er derimot lite representativt da det kun var 28 prøver sammenlagt. For å få mer tydelige resultater og se eventuelle sammenhenger på den vertikale distribusjonen av lakselus, kreves det mer omfattende forskning og større mengder prøvemateriale. På grunn av lite mengde data ble det ikke gjennomført statistiske analyser. Slike analyser kunne blitt brukt til å se etter signifikante forskjeller i vertikalfordelingen av lakselus i vannsøylen.

Både krepsdyr og nauplii hadde lik vertikal distribusjon i vannsøylen, der begge hadde høyest konsentrasjon ved 2 meter. Av 2593,59 krepsdyr/m³ ble det identifisert 0,18 nauplii/m³ på 2 meters dybde i merd. På 2 meters dybde utenfor merd ble det identifisert 0,06 nauplii/m³ av 2586,41 krepsdyr/m³. Ved 10 meters dybde var konsentrasjon av krepsdyr betraktelig lavere med 1112,61 krepsdyr/m³ på 0,03 nauplii/m³. Konsentrasjonen av lakselus nauplii er minimal sammenlignet med konsentrasjonen av krepsdyr.

77,7 % av alle krepsdyr ble observert nær overflaten på 2 meters dybde. Planteplankton er primærprodusenter, og krever derfor lys for å fullføre fotosyntesen. Dette gjør at de befinner seg høyt i vannsøylen (Dommasnes et al., 2008). Siden krepsdyr er avhengige av planteplankton for å livnære seg, samsvarer dette med funnene fra figur 11. Det er også muligheter for at noen av krepsdyrene driver vertikalvandring og de vil da ifølge Dommasnes et al., (2008) være høyere opp i overflaten når det er mørkt. Majoriteten av prøvene ble tatt da det ikke var sollys, noe som igjen stemmer overens med den høye andelen krepsdyr som ble observert på 2 meters dybde. Siden krepsdyr også har mulighet til å drive vertikalvandring samt livnære seg på lipidlagre (Dommasnes et al., 2008) vil dette korrelere med antall krepsdyr funnet ved 10 meter og 20 meter. Likevel er krepsdyr per definisjon planktoniske dyr og vil i all hovedsak drifte fritt med havstrømmene (Dommasnes et al., 2008). Det er derfor en mulighet for at resultatene innsamlet i dette forsøket var tilfeldige. Med flere prøver og mer innsamlet data ville det vært enklere å utelukke tilfeldigheter.

4.4 Videre forskning

Det anbefales videreføring av arbeidet for å få en tydeligere forståelse av vertikalfordelingen av lakselus. Dette vil kunne bidra med å finne svar på lakselus problematikken, noe som vil utgjøre en betydelig forskjell for akvakulturnæringen. For videre forskning vil det være hensiktsmessig å samle inn større kvanta data og utføre forsøket over en lengre tidsperiode. Det vil være et godt utgangspunkt å gjennomføre forsøk på vinterstid før algeoppblomstring. Med dette vil prøvene inneholde mindre plankton, noe som vil øke effektiviteten av forsøket samt hastigheten av telling i mikroskop og analyseringen med KI-modellen. Det anbefales likevel å gjennomføre lignende forsøk ved alle årstider for å se om sesongvariasjoner kan ha en betydning for den vertikale distribusjonen av nauplii. YOLOv8n bør trenes med et utvidet og mer variert treningssett for å forbedre modellens nøyaktighet og presisjon.

5.0 Konklusjon

Formålet med denne casestudien var å se på den vertikale distribusjonen av lakselus nauplii og krepsdyr ved hjelp av kunstig intelligens (YOLOv8n), og vurdere modellens nøyaktighet og presisjon til å gjenkjenne nauplii. Resultatene viser til funn av nauplii på dybdene 2 og 10 meter, men ikke på 20 meters dybde. Det ble funnet en høyere andel av nauplii og krepsdyr på 2 meters dybde sammenlignet med dypere vannlag. Mengden data innsamlet er derimot minimal og resultatene gir ingen konkrete svar relatert til den vertikale distribusjonen hos nauplii. YOLOv8n fungerer og effektiviserer arbeidet med bildegjenkjenning, men modellen har fremdeles forbedringspotensialet for å bli mer presis og troverdig.

Litteraturliste

- á Norði, G., Simonsen, K., & Patursson, Ø. (2016). A method of estimating in situ salmon louse nauplii production at fish farms. *Aquaculture Environment Interactions*, 8, 397–405.
- Abolofia, J., Asche, F., & Wilen, J. E. (2017). The cost of lice: Quantifying the impacts of parasitic sea lice on farmed salmon. *Marine Resource Economics*, 32(3), 329–349.
- Allen, S. E., & Lewis, A. (2013). *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837): Second nauplius and copepodid locomotor appendages, surface areas and possible appendage functions. *Crustaceana*, 86(13–14), 1695–1710.
- Andersen, L. B., Grøsvik, B. E., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Hansen, P. K., Husa, V., Sandlund, N., Stien, L. H., & Solberg, M. F. (2023). Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2023—Produksjonsdødelighet hos oppdrettsfisk og miljøeffekter av norsk fiskeoppdrett. *Rapport fra havforskningen*.
- Asplin, L., Boxaspen, K., & Sandvik, A. D. (u.å.). *Modelled distribution of salmon lice in a Norwegian fjord*.
- Barentswatch. (2024). *Fiskehelse*. <https://www.barentswatch.no/fiskehelse/locality/12265/2024/9>
- Barker, S. E., Bricknell, I. R., Covello, J., Purcell, S., Fast, M. D., Wolters, W., & Bouchard, D. A. (2019). Sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer 1837), infected Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) are more susceptible to infectious salmon anemia virus. *PLOS ONE*, 14(1), e0209178. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209178>
- Barrett, L. T., Oppedal, F., Robinson, N., & Dempster, T. (2020). Prevention not cure: A review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2527–2543. <https://doi.org/10.1111/raq.12456>
- Barrett, L. T., Overton, K., Stien, L. H., Oppedal, F., & Dempster, T. (2020). Effect of cleaner fish on sea lice in Norwegian salmon aquaculture: A national scale data analysis. *International Journal for Parasitology*, 50(10), 787–796. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2019.12.005>
- Brooker, A. J., Skern-Mauritzen, R., & 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>
- Brun, E., & Sommerset, I. (2024). *Fiskehelse rapporten 2023: Dette er årsakene til at oppdrettsfisken dør*. Veterinærinstituttet. <https://www.vetinst.no/nyheter/fiskehelse rapporten-2023-dette-er-arsakene-til-at-oppdrettsfisken-dor>
- Bui, S., Dalvin, S., Vågseth, T., Oppedal, F., Fossøy, F., Brandsegg, H., Jacobsen, Á., á Norði, G., Fordyce, M. J., & Michelsen, H. K. (2021). Finding the needle in the haystack: Comparison of methods for salmon louse enumeration in plankton samples. *Aquaculture Research*, 52(8), 3591–3604.
- Coguiac, E., Ershova, E. A., Daase, M., Vonnahme, T. R., Wangensteen, O. S., Gradinger, R., Præbel, K., & Berge, J. (2021). Seasonal Variability in the Zooplankton Community Structure in a Sub-Arctic Fjord as Revealed by Morphological and Molecular Approaches. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2021.705042>
- Costello, M. J. (2006). Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish. *Trends in parasitology*, 22(10), 475–483.
- Dahms, H.-U., Fornshell, J. A., & Fornshell, B. J. (2006). Key for the identification of crustacean nauplii. *Organisms Diversity & Evolution*, 6(1), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.ode.2005.04.002>

- Dalvin, S. (2020). *Lakselus—Generell biologi*. Havforskningsinstituttet.
<https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus/generell-biologi>
- Dalvin, S., & Oppedal, F. (2019). Utvikling av lakselus ved ulike temperatur og lys-TEMPLUS. *Rapport fra havforskningen*.
- Eisenhauer, L., Solvang, T., Alver, M., Franklin Krause, D., & Hagemann, A. (2020). Dispersal of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer, 1837) egg strings from open-cage salmon farming: A neglected source for infestation dynamics. *Aquaculture research*, *51*(11), 4595–4601.
- Fiskeridirektoratet. (u.å.). *Hva er trafikklyssystemet?* Fiskeridirektoratet. Hentet 14. mai 2024, fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelse/hva-er-trafikklyssystemet>
- Fiskeridirektoratet. (2023a). *Arbeidsinnstans i akvakulturnæringen*. Fiskeridirektoratet.
- Fiskeridirektoratet. (2023b). *Laks, regnbueørret og ørret—Matproduksjon*.
- Forskrift om lakselusbekjempelse. (2020). *Forskrift om Lakselusbekjempelse. Forskrift om Bekjempelse av Lakselus i Akvakulturanlegg. Nr 6 Måling av Sjøtemperatur og Telling av Lakselus [Regulations on Salmon Lice Control. Regulations on Combating Salmon Lice in Aquaculture Plants. No. 6 Measurement of Sea Temperature and Counting of Sea Lice]*.
- Frenzl, B. (2015). *Understanding key factors associated with the infection of farmed Atlantic salmon by the salmon louse Lepeophtheirus salmonis*.
- Hagemann, A., Kvæstad, B., & Venås, B. (2024). Effect of diel light cycles on vertical migration patterns of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837) copepodids measured in an in situ mesocosm. *Aquaculture International*, 1–17.
- Hamre, L. A., Glover, K. A., & Nilsen, F. (2009). Establishment and characterisation of salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer 1837)) laboratory strains. *Parasitology international*, *58*(4), 451–460.
- Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H.-R., & Huntley, M. (2000). *ICES zooplankton methodology manual*. Elsevier.
- Havforskningsinstituttet. (2024). *Lusekartet*. Hentet fra <https://www.hi.no/forskning/marine-data-forskningsdata/lakseluskart/html/lakseluskart.html>
- Heuch, P., Nordhagen, J., & Schram, T. (2000). Egg production in the salmon louse [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] in relation to origin and water temperature. *Aquaculture research*, *31*(11), 805–814.
- Ingebrigtsen, H. (2017). *Molecular quantification of sea lice in and around sea cages—A study comparing the molecular quantification method qPCR against a conventional method*.
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R., Hess, E. J., Rolland, K. H., Garshol, L. D., & Marthinussen, A. (2019). Kostnadsutvikling og forståelse av drivkrefter i norsk lakseoppdrett. Faglig sluttrapport. *Nofima rapportserie*.
- Jevne, L. S., Guttu, M., Båtnes, A. S., Olsen, Y., & Reitan, K. I. (2021b). Planktonic and parasitic sea lice abundance on three commercial salmon farms in Norway throughout a production cycle. *Frontiers in Marine Science*, *8*, 615567.
- Johnsen, I. A., Harvey, A., Sævik, P. N., Sandvik, A. D., Ugedal, O., Ådlandsvik, B., Wennevik, V., Glover, K. A., & Karlsen, Ø. (2021). Salmon lice-induced mortality of Atlantic salmon during post-smolt migration in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, *78*(1), 142–154.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa202>
- Johnsen, I., Asplin, L., Sandvik, A., & Serra-Llinares, R. (2016). Salmon lice dispersion in a northern Norwegian fjord system and the impact of vertical movements. *Aquaculture Environment Interactions*, *8*, 99–116. <https://doi.org/10.3354/aei00162>

- Johnsen, I., Fiksen, Ø., Sandvik, A., & Asplin, L. (2014). Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system. *Aquaculture Environment Interactions*, 5(2), 127–141. <https://doi.org/10.3354/aei00098>
- Johnson, S. C., & Albright, L. J. (1991). Development, Growth, and Survival of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) Under Laboratory Conditions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 71(2), 425–436. Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/S0025315400051687>
- Kjærgård, A. O. (2022). *Kunstig intelligens (KI)-En pilotstudie i overvåkning av velferd, sykdom og dødelighet hos Atlantisk laks (Salmo salar L.)*.
- Manakitsa, N., Maraslidis, G. S., Moysis, L., & Fragulis, G. F. (2024). A Review of Machine Learning and Deep Learning for Object Detection, Semantic Segmentation, and Human Action Recognition in Machine and Robotic Vision. *Technologies*, 12(2), 15.
- Mikkelsen, E. (2024). Produksjon av laksefisk. *Barentswatch*. <https://www.barentswatch.no/havbruk/produksjonlaksefisk>
- Moriarty, M., Ives, S. C., Murphy, J. M., & Murray, A. G. (2023). Modelling parasite impacts of aquaculture on wild fish: The case of the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) on out-migrating wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt. *Preventive Veterinary Medicine*, 214, 105888.
- Myhre Jensen, E., Horsberg, T. E., Sevatdal, S., & Helgesen, K. O. (2020). Trends in de-lousing of Norwegian farmed salmon from 2000–2019—Consumption of medicines, salmon louse resistance and non-medicinal control methods. *PLoS One*, 15(10), e0240894.
- Nelson, E., Robinson, S., Feindel, N., Sterling, A., Byrne, A., & Pee Ang, K. (2018). Horizontal and vertical distribution of sea lice larvae (*Lepeophtheirus salmonis*) in and around salmon farms in the Bay of Fundy, Canada. *Journal of fish diseases*, 41(6), 885–899.
- Norges sjømatråd. (2024, mai 6). *Prisvekst og svak krone ga eksportrekord for norsk sjømat i 2023*. <https://seafood.no/aktuelt/nyheter/prisvekst-og-svak-krone-ga-eksportrekord-for-norsk-sjomat-i-2023/>
- Oppedal, F., Dempster, T., & Stien, L. H. (2011). Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: A review. *Aquaculture*, 311(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.11.020>
- Oppedal, F., Samsing, F., Dempster, T., Wright, D. W., Bui, S., & Stien, L. H. (2017). Sea lice infestation levels decrease with deeper «snorkel» barriers in Atlantic salmon sea-cages. *Pest Management Science*, 73(9), 1935–1943. <https://doi.org/10.1002/ps.4560>
- Overton, K., Barrett, L., Oppedal, F., Kristiansen, T., & Dempster, T. (2020). Sea lice removal by cleaner fish in salmon aquaculture: A review of the evidence base. *Aquaculture Environment Interactions*, 12, 31–44. <https://doi.org/10.3354/aei00345>
- Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Gismervik, K., & Stien, L. H. (2019). Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: A review. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1398–1417. <https://doi.org/10.1111/raq.12299>
- Paisley, L. G., Ariel, E., Lyngstad, T., Jónsson, G., Vennerström, P., Hellström, A., & Østergaard, P. (2010). An overview of aquaculture in the Nordic countries. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(1), 1–17.
- Penston, M. J., McKibben, M. A., Hay, D. W., & Gillibrand, P. A. (2004). Observations on open-water densities of sea lice larvae in Loch Shieldaig, Western Scotland. *Aquaculture Research*, 35(8), 793–805. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01102.x>
- PricewaterhouseCoopers. (2024, januar 11). *Hva er kunstig intelligens?* PwC. <https://www.pwc.no/no/teknologi-omstilling/digitalisering-pa-1-2-3/kunstig-intelligens.html>

- Rapport-Kunstig-intelligens-og-maskinlaering-til-nett.pdf*. (u.å.). Hentet 29. februar 2024, fra <https://media.wpd.digital/teknologiradet/uploads/2018/09/Rapport-Kunstig-intelligens-og-maskinlaering-til-nett.pdf>
- Regjeringen. (2021). *Handlingsplan for ville bestandar av atlantisk laks*.
- Samsing, F., Oppedal, F., Dalvin, S., Johnsen, I., Vågseth, T., & 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*, 73(12), 1841–1851.
- Schram, T. A. (2004). Practical identification of pelagic sea lice larvae. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84(1), 103–110.
- Skarðhamar, J., Fagerli, M. N., Reigstad, M., Sandvik, A. D., & Bjørn, P. A. (2019). Sampling planktonic salmon lice in Norwegian fjords. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 701–715.
- Skern-Mauritzen, R., Thompson, C., Dalvin, S., Thorsen, A., Bui, S., Bron, J. E., & Fordyce, M. (2021). Fluorolice-Final report for FHF project 901508. *Rapport fra havforskningen*.
- Skogen, M. D., Gjørseter, H., Toresen, R., & Robberstad, Y. (2007). *Havets ressurser og miljø 2007*.
- Solberg, I., Finstad, B., Berntsen, H. H., Diserud, O. H., Frank, K., Helgessen, K. O., Jeong, J., Kristoffersen, A. B., Nytrø, A. V., & Revie, C. W. (2018). *Kartlegging og testing av metodikk for telling av lakselus og beregning av luseforekomst*.
- SSB. (2023). *Norsk næringsliv*. SSB. <https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/faktaside/norsk-naeringsliv>
- Strøm, R., Straume, B., & Binder, J. (2023). *Utvikling av et flow-system for filming av planktonprøver som kan analyseres ved bruk av kunstig intelligens*.
- Tennøe, T., & Prabhu, R. (2017). Kunstig intelligens og norsk politikk. *Nytt norsk tidsskrift*, 34(2), 205–216.
- Terven, J., Córdova-Esparza, D.-M., & Romero-González, J.-A. (2023). A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 5(4), Artikkel 4. <https://doi.org/10.3390/make5040083>
- Thorvaldsen, T., Frank, K., & Sunde, L. M. (2018). *Lusetellingsmetoder i lakseoppdrett-en beskrivelse av dagens status*.
- Tidemann, A., & Elster, A. C. (2023). Maskinlæring. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/maskinl%C3%A6ring>
- Torrissen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skilbrei, O. T., Nilsen, F., Horsberg, T. E., & Jackson, D. (2013). Salmon lice—impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of fish diseases*, 36(3), 171–194.
- Universitetet i Oslo. (u.å.). *Plankton*. Hentet 14. mai 2024, fra <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/p/plankton.html>
- Walde, C. S., Bang Jensen, B., Stormoen, M., Asche, F., Misund, B., & Pettersen, J. M. (2023). The Economics of Preventing, Replacing or Improving Current Methods for Delousing Farmed Atlantic Salmon in Norway. *Replacing or Improving Current Methods for Delousing Farmed Atlantic Salmon in Norway*.
- Walde, C. S., Stormoen, M., Pettersen, J. M., Persson, D., Røsæg, M. V., & Bang Jensen, B. (2022). How delousing affects the short-term growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 561, 738720. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738720>
- Aaen, S. M., Helgesen, K. O., Bakke, M. J., Kaur, K., & Horsberg, T. E. (2015). Drug resistance in sea lice: A threat to salmonid aquaculture. *Trends in parasitology*, 31(2), 72–81.

Vedlegg

Vedlegg 1. Rådata. Sammenligning av flow-system 1 og 2

Tid	Dybde og plassering	60% nøyaktighet	10% nøyaktighet	Videoens varighet	Antall bilder ved 60% nøyaktighet	Antall bilder ved 10% nøyaktighet	Flow-system 1	Flow-system 2
20:50								
	DM2	8	8	28 min 34 sek	98	544	x	
	D2	0	0	38 min 27 sek	1671	10283	x	
	D10	0	0	26 min 31 sek	122	1675	x	
	D20	0	0	18 min 16 sek	198		x	
23:43								
	DM2	7	8	49 min 49 sek	637	4650	x	
	D2	1	5	50 min 30 sek	365	3414	x	
	D10	1	1	53 min 30 sek	88	1838	x	
	D20	0	0	2t 23 min 37 min	14	643		x
02:10								
	DM2	3	5	4t 7 min 17sek	105	2611	x*	x*
	D2	0	2	57 min 27 sek	2687	31232	x	
	D10	1	1	31 min 51 sek	70	1172	x	
	D20	0	0	57 min 43 sek	51	1056	x	
04:30								
	DM2	1	4	1t 6 min 5 sek	89	2539	x	
	D2	0	1	1t 09 min 2 sek	751	8128	x	
	D10	0	2	58 min 32 sek	2298	41551	x	
	D20	0	0	1t 4 min 56 sek	7	359		x
06:55								
	DM2	2	4	1t 23 min 57 sek	140	2582	x	
	D2	0	0	1t 06 min 50 sek	1338	11846	x	
	D10	0	1	1t 08 min 10 sek	15711	75270	x	
	D20	0	0	1t 42min 13 sek	8592	67175		x
09:25								
	DM2	2	6	1t 55 sek	1012	9304	x	
	D2	2	3	49 min 16 sek	276	4258	x	
	D10	0	1	1t 57 min 16 sek	9	255		x
	D20	0	0	1t 55 min 16 sek	25	3200		x
12:10								
	DM2	0	0	1t 45 min 42 sek	3051	38531	x	
	D2	0	0	1t 5 min 6 sek	1	1814	x	
	D10	0	0	2t 33 min 58 sek	35338	220576		x
	D20	0	0	59 min 48 sek	33	731	x	
Sum		28	52	35t 10 min 9 sek				

* Prøven ble delt i to og begge flow-systemene ble benyttet

DM2 = dybde 2 meter i merd
D2 = dybde 2 meter utenfor merd
D10 = dybde 10 meter utenfor merd

Vedlegg 2. Sammenligning med antall identifikasjoner per lus med nøyaktighet 60% og 10% på YOLOv8n

Tid	Dybde og plassering	Antall identifiserte lus	Antall bilder per lus på 60% nøyaktighet	Antall bilder per lus på 10% nøyaktighet
20:50	DM2	1	6	13
		2		20
		3	8	8
		4	15	16
		5	3	6
		6	5	7
		7	2	4
		8	7	14
23:43	DM2	9	14	13
		10	0	2
		11	3	6
		12	17	19
		13	3	7
		14	5	8
		15*	101	403
		16	16	18
23:43	D2	17	5	6
		18	0	7
		19	0	4
		20	0	6
		21	0	1
23:43	D10	22	5	8
02:10	DM2	23	2	3
		24	0	2
		25	1	1
		26	0	1
		27	2	7
02:10	D2	28	0	2
		29	0	3
02:10	D10	30	1	2
04:30	DM2	31	0	1
		32	1	1
		33	0	2
		34	0	5
04:30	D2	35	0	2
04:30	D10	36	0	2

		37	0	3
06:55	DM2	38	0	1
		39	0	2
		40	1	9
		41	1	2
06:55	D10	42	0	1
09:25	DM2	43	1	2
		44	0	1
		45	0	4
		46	2	4
		47	0	1
09:25	D2	48	8	9
		49	5	7
		50	0	2
09:25	D10	51	0	1
Total			240	679

* Opptaket ble midlertidig stanset når lusa var i bildet

DM2 = dybde 2 meter i merd

D2 = dybde 2 meter utenfor merd

D10 = dybde 10 meter utenfor merd

