

Vegard Digernes Klokk

# Bruk av videosystem og KI for å finne lakseluslarver i ferske planktonprøver

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



Vegard Digernes Klokk

# **Bruk av videosystem og KI for å finne lakseluslarver i ferske planktonprøver**

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

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



# Sammendrag

Lakselusen koster oppdrettsnæringen mange milliarder i året og dreper både villaks og oppdrettslaks. Det har blitt utviklet en spredningsmodell for lakselus som brukes for å finne steder med høyt smittepress. Spredningsmodellen blir også brukt som verktøy for regulering av trafikklyssystemet. Hensikten med trafikklyssystemet er å overvåke og begrense utvikling av lakselus i norskekysten. Hvorvidt spredningsmodellen reflekterer virkelighet, er vanskelig å si. Det er samlet lite data fra lakseluslarver i frie vannmasser som kan være med på å teste spredningsmodellens estimater. Foreløpig er det ingen effektive metoder for å analysere store kvantum med filtrert sjøvann. Dette er nødvendig for å kunne kartlegge omfang av luselarver i et bestemt område. I denne oppgaven ble det benyttet to videosystemer som filmet planktonprøver i et flowsystem, hvor kunstig intelligens som var trent på å gjenkjenne nauplier og kopepoditter i planktonprøver analyserte videofilmene.

To feltforsøk ble utført rundt lokaliteten Gudmundset, Møre og Romsdal. Totalt ble ca. 400m<sup>3</sup> sjøvann filtrert fra feltforsøkene. Dårlig bildekvalitet av prøver fra første feltforsøk gjorde disse resultatene vanskelig å evaluere. Bildekvalitet og tetthet i prøvene ble forbedret i andre feltforsøk. Av 12 ulike prøver rundt et oppdrettsanlegg ble fire nauplier funnet. Resultatene indikerer at gjenkjenningsmodellen trenger mer treningsdata av nauplier og kopepoditter i utfordrende omstendigheter. På det meste ble det funnet 0.66 nauplier/m<sup>2</sup> fra en prøve. Egne funn og funn fra annen bachelor gruppe ble brukt for sammenligning med lakseluskartets estimater. Mye større volum måtte blitt filtrert for å kvantifisere forskjeller i luselarvetettheter som ble hentet i vinterperioden med lave tettheter.

# Abstract

The salmon lice costs the Norwegian farming industry several billions a year, killing both wild and farmed salmon. Hence, a dispersion model has been developed to track the salmon lice and places with high infection pressure. The dispersion model also acts as a tool for regulating the traffic light system. The purpose of the traffic light system is to monitor and limit the spread of salmon lice in the Norwegian coastal area. Whether this dispersion model reflects reality is hard to say. It has been collected few datapoints from salmon lice larvae in free bodies of water which can test the estimates of the dispersion model. Meanwhile there is no effective methods of analyzing big quantities of filtered sea water. This is necessary to be able to map the extent of sea lice in a specific area. In this bachelor thesis two video systems were used to record plankton samples in a flow system, where artificial intelligence trained to detect nauplii and copepodids in plankton samples analyzed these recordings.

Two field trials were conducted by the salmon farm of Gudmundset, More and Romsdal. In total 400m<sup>3</sup> of sea water was filtered from the field trials. Bad image quality from the first field trial made the results from the following samples hard to evaluate. Image quality and planktonic densities were improved during the second field trial. From 12 different samples nearby a salmon farm, four nauplii were found. The results indicate that this image detection model needs more training from nauplii and copepodids from challenging circumstances. At most there were found 0.66 nauplii/m<sup>2</sup> from one sample. This study`s findings and also findings from another bachelor group were used to compare with the estimates of the dispersion model. Significantly bigger volumes of sea water was needed to be filtered to quantify the differences in salmon lice larvae densities in the winter period with consequently lower densities.

# Innhold

<b>1. Introduksjon</b> .....	1
<b>1.1 Lakselus biologi</b> .....	2
<b>1.2 Lakselus og dets datagrunnlag</b> .....	3
<b>1.3 Metoder for innsamling og lusetelling av planktonprøver</b> .....	5
<b>1.4 Kunstig intelligens som analyseverktøy</b> .....	6
<b>1.5 Formål</b> .....	7
<b>2. Materiale og Metoder</b> .....	8
<b>2.1 Studiested</b> .....	8
<b>2.2 Prøvetakingsutstyr og metode for samling av planktonprøver</b> .....	9
<b>2.3 Videofilming av planktonprøver</b> .....	10
<b>2.4 Videoanalyse av planktonprøver</b> .....	12
<b>2.4.1 Gjenkjenning ved bruk av kunstig intelligens (YOLOv8)</b> .....	12
<b>2.4.2 Gjenkjenning ved manuell telling</b> .....	13
<b>3.0 Resultater</b> .....	14
<b>3.1 Praktiske erfaringer og bruk av utstyr/metode</b> .....	14
<b>3.1.1 Innsamling og lagring av planktonprøver</b> .....	14
<b>3.1.2 Videofilming av planktonprøver</b> .....	15
<b>3.1.3 KI analyse av planktonprøver</b> .....	15
<b>3.2 Funn av lakseluslarver fra planktonprøver</b> .....	18
<b>3.2.1 Korrekt identifisering ved hjelp av YOLO-modellen</b> .....	18
<b>3.2.2 Manuell kontrolltelling av videoer</b> .....	21
<b>4.0 Diskusjon</b> .....	22
<b>4.1 Utstyr/metode</b> .....	22
<b>4.2 Luselarvetetthet</b> .....	24
<b>4.3 Sammenligning med spredningsmodellen (lakseluskartet)</b> .....	25
<b>5.0 Konklusjon</b> .....	27
<b>Referanser</b> .....	28

# 1. Introduksjon

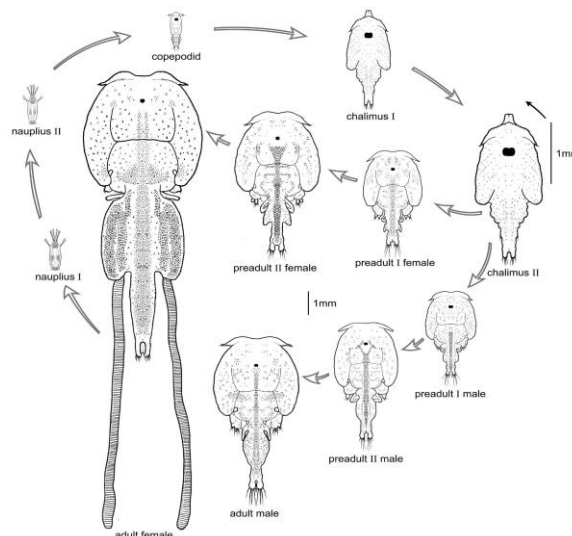
Lakselus, *Lepeophtheirus salmonis*, er en naturlig forekommende parasitt langs norskekysten. Lakselusen er antatt først skriftlig beskrevet av den dansk-norske biskopen Erik L. Pontoppidan (1698-1764) som et grønt lignende skadedyr kalt "Laxe-Luus", sittende mellom finnene på villaksen og skapte ubehag og sår for fisken (Torrissen et al., 2013). Vill laks drar tilbake til elven den blir klekket i. Dette periodiske skiftet mellom salt og ferskvann fungerer som en naturlig barriere og forhindrer lakselus fra å vokse, samtidig som ferskvannet beskytter laksen (Hersoug et al., 2021). Oppdrett av laksefisk begynte sent på 60-tallet/tidlig 70-tallet, med rask økning av produksjonen mot 90-tallet (Tilseth et al., 1991). Flere verter i økosystemet har ført til en naturlig økning av lakselus populasjoner (Dempster T et al., 2021). Dette er spesielt problematisk for villfisk, hvor det ble estimert at 50 000 villfisk døde årlig mellom 2010-2014, 10% tap av populasjonen grunnet lakselus (Havforskningsinstituttet, 2019b). Lignende statistikk har skapt behov for reguleringer i antall lakselus per fisk på oppdrettsanlegg. Antall lakselus per fisk varierer mellom 0.5 voksen hunnlus per fisk og 0.2 voksen hunnlus per fisk enkelte perioder i året, hvor smoltutvandring av villfisk og temperatur er tatt i betraktning (Overton et al., 2019).

I dag brukes ulike metoder innen lakseoppdrett for å bli kvitt eller kontrollere tilfeller av lakselus. Ulike former for behandling er som oftest nødvendig, og blir store kostnadsdrivere i næringen. Disse behandlingene baserer seg på å løse velferdsproblemene tilknyttet fisken eller de betydelige økonomiske kostnadene som lakselusen forårsaker oppdrettsnæringen (Abolofia et al., 2017). I 2021 ble det estimert 167 milliarder kroner i direkte og indirekte kostnader tilknyttet lakselusa (Eide, 2021). I 2022 var den gjennomsnittlige dødeligheten på oppdrettslaks 15% på nasjonalt nivå, en økning med 1 million dødfisk fra året før (Knudsen, 2023). Årsaken til den biologiske kostnaden er sammensatt, men det skyldes mest av den økte dødeligheten disse metodene for kontroll av lakselus kan medføre (Misund, 2023). Tiltak som postsmoltproduksjon på land kan hjelpe med å ta ned prosentvis dødelighet ved å skjerme fisken fra parasitten. Dette fører derimot til økt vekt på dødfisk, som er betydelig dyrere enn tidligere praksis (Misund, 2023). Disse utfordringene skal samtidig løses under strengere reguleringer for en mer bærekraftig produksjon, som paradoksalt kan føre til økte kostnader (Fagerbakke, 2020b; Fanghol, 2021).



## 1.1 Lakselus biologi

*Lepeophtheirus salmonis* eller lakselus er en ectoparasitt. Dvs. at både hann- og hunnlusen lever på overflaten av den infiserte verten (Hamre et al., 2009), hvor lakselusen konsumerer hud, slim og blod fra fisken. I de fleste tilfeller skaper den ubehag og sår for verten (Hamre et al., 2009). Dette impliserer at alvorlige infeksjoner kan fjerne slim og hud som eksponerer den underliggende muskelen. Igjen kan dette føre til redusert appetitt, problemer angående osmotisk regulering, sekundære infeksjoner og død (Nolan et al., 1999; Pike & Wadsworth, 1999). Utover dette er det store forskjeller mellom lakselus-kjønnene. Hunn- og hannlusen er henholdsvis 10-12mm og 5-6mm. Den større kroppen gjør det mulig for hunnlusen å bære to eggstrenger. Disse eggstrengene kan omtrentlig inneholde fra 100 til 1200 egg (Hamre et al., 2009) som er essensielt for livshistoriestrategien til parasitten (VI, 2009). Lakselusen er et vekselvarmt dyr og vokser derfor i takt med temperatur spesielt (Hamre et al., 2019).



**Figur 1.** Livssyklus til lakselus (Havforskningsinstituttet, 2020)

Lakselusens livssyklus er delt opp i 8 ulike stadier (Figur 1) med skallskifte imellom. Tiden det tar mellom utviklingsstadiene er avhengig av temperatur og antall dager - døgngader. De 3 første stadiene er planktoniske og flyter dermed fritt i vannmassene, hvor de følger skiftende strømforhold (Asplin et al., 2014). Dette består av nauplius I og II, samt copepoditt som kan infestere. I løpet av disse stadiene utvikler de seg ved å spise eggeplommen tilknyttet kroppen (Hamre et al., 2019). Etter at copepoditten treffer overflaten på en kompatibel vert, kan parasitten utvikle seg til de fastsittende chalimus stadiene. Chalimus stadiene ble tidligere kategorisert i 4 ulike trinn, men nyere forskning viser at det bare er skille mellom chalimus I og II (Hamre et al., 2013). I chalimus stadiene er parasitten fastsittende på overflaten av verten og vokser seg til preadultstadiene I og II. I disse stadiene kan lakselusen bevege seg mellom skallskifte. Her skiller hann- og hunnlusen seg betydelig,

og siden hannen utvikler seg raskere, vil hannen gjøre seg klar til å parre seg med hunnlusen når hunnen kommer til adult stadiet (Borchel et al., 2022).

Siden de 3 første stadiene er planktoniske, vil en kunne stoppe disse fra å nå en kompatibel vert mens de flyter med strømmen. Luseskjørt og nedsenkede merder har blitt effektive tiltak for å redusere eksponering av planktoniske luselarver (Barrett et al., 2020; Sievers M et al., 2018). Senking av fisk eller luseskjørt skaper en barriere mellom laksen og lakselusen, fordi lakselusen holder seg mest i den øvre vannsøylen (Crosbie T et al., 2019, 2020). Lakseluslarver er også registrert på 20-30 meters dyp i felt (Nelson et al., 2018), men er som regel betydelig sjeldnere sammenlignet med funn på 0-6 meters dyp (á Norði G et al., 2016; Frenzl, 2015). Hvordan nauplius og kopepoditter beveger seg i disse ulike dypene er vanskeligere å anslå. Kopepoditter har i enkelte forsøk vist positiv fototaktisk atferd (Heuch et al., 1995), og beveger seg følgelig nærmere sollys. Nauplius har i nyere forsøk vist sterkere positiv fototaktisk atferd ved raskere stigning til økt lysintensitet (Szety A et al., 2021). Ergo, det forventes en viss vertikalvandring blant nauplier og kopepoditter mellom natt- og dagsykluser.

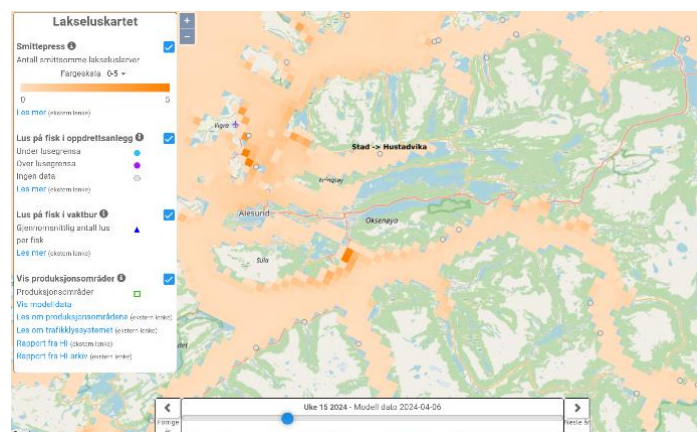
I ulike studier viser nauplier og kopepoditter ulik atferd når de sammenlignes under laboratorieforsøk (Heuch et al., 1995; Szety A et al., 2021). Lignende forsøk under kontrollerte forhold har vist motsigende resultater i feltforsøk (á Norði G et al., 2015; Crosbie T et al., 2020). Ifølge en metaanalyse av 29 publikasjoner er feltforsøk ofte preget av datamangel rundt mengde vann filtrert, altfor lite vann filtrert og analysert, og ingen standardisert metode for estimering av lakseluslarver tetthet mellom publikasjonene (Fernandez-Gonzalez et al., 2022). Disse faktorene gjør det vanskelig å bekrefte/avkrefte laboratorieforsøk. Noen av disse laboratorieforsøkene prøver å finne ut hvordan saltholdighet og temperatur spiller inn på hvor i de øvre vannlagene luselarvene i de planktoniske stadiene forholder seg (Crosbie T et al., 2019, 2020; Dalvin & Oppedal, 2019). Følgelig kan forhold som skaper stratifisering fra ferskvann eller ulike temperaturgradienter i fjord rundt oppdrettsanlegg, ha betydning for spredning av luselarver og risiko tilknyttet infeksjon av annen villfisk eller oppdrettsfisk. Uansett om at det finnes motstridende data har det blitt viktig å samle data på lakselus fra oppdrettsanlegg og bruke disse for å kartlegge lakselus spredning.

## **1.2 Lakselus og dets datagrunnlag**

Datagrunnlag for lakselus bygges opp av ukentlige tellinger fra oppdrettsanlegg, som videre brukes som inngangsdata i Havforskningsinstituttets hydrodynamiske spredningsmodell (Havforskningsinstituttet, 2019). Denne modellen kan estimere antall og hvor smittsomme kopepoditter flyter i de frie vannmassene. Modellen kommer med prediksjoner som er basert på strømmodellen NorKyst-800 data om strøm, temperatur og salinitet. Som nevnt er temperatur essensielt for å estimere utvikling av lakseluslarvene, noe som gjør at omfang varierer med tid på året

(Havforskningsinstituttet, 2024). Strøm kan være svært forskjellig i ulike dybder (Stigebrandt, 2012). Derfor vil mer kunnskap rundt både dybden til klekking i oppdrettsanlegg, samt vertikalvandring være viktig for riktig modellering av spredningsmønsteret. Fenomenet Kármánsk virvelgate kan komme fra dragkraft til merder (Klebert et al., 2013), som i teorien kan ta med seg nauplier og kopepoditter via store luftlommer i tilfeldige retninger. Noe usikkerhet av spredningsbildet vil det alltid være, og per dags dato er det ingen god metode å verifisere hele modellen. Fysiske undersøkelser gjøres primært ved tråling av utvandrende vill laks eller bruk av vaktbur med smolt til validering i utvalgte områder (Fagerbakke, 2020a). Den nasjonale overvåkingen av lakselus på vill laksefisk (NALO) har de siste årene brukt spredningsmodellen for å finne utvalgte områder med høyt og lavt smittepress å undersøke i deres rapport for trafikklssystemet (Karlsen et al., 2023).

Trafikklssystemet avgjør om oppdrettere fra ulike produksjonsområder (PO) får tillatelse til å vokse, stagnere eller redusere produksjonskapasiteten (Fiskeridirektoratet, 2024). Reguleringen i disse produksjonsområdene illustreres ved en gitt farge og fungerer som et trafikkllys. Disse produksjonsområdene reguleres etter økt lakselusindusert dødelighet på vill laksefisk som disse produksjonsområdene tar del i ved sin uønskede spredning av lakseluslarver fra oppdrettsanlegg i åpen sjø (Vollset et al., 2023). Siden denne reguleringen har sterk økonomisk betydning for produksjonsområdene (Knudsen, 2024), blir dataen hentet fra ulike institusjoner og gjennom ulike metoder for å støtte under tiltakene (Havforskningsinstituttet, 2023; Vollset et al., 2023). Både spredningsmodellen og data innhentet for regulering av trafikklssystemet er gjenstander for kontinuerlig gransking. Spredningsmodellen har skapt opphav til lakseluskartet (Figur 2) fra påslag av lakselus, smittepress og hvordan lakselusa sprer seg i den hydrodynamiske spredningsmodellen (Havforskningsinstituttet, 2019a). Smittepresset er illustrert vha. en fargeskala, og viser hvor mange kopepoditter per kvadratmeter som har vært i området den aktuelle uken (Havforskningsinstituttet, 2019a). Den eneste måten å kontrollere lakseluskartet på er å fysisk sjekke om ca. like mange kopepoditter finnes i en gitt kvadratmeter opp mot spredningsmodellens estimater. Med lysmikroskopi er dette både tidkrevende og utfordrende.



**Figur 2.** Havforskningsinstituttets lakseluskart (Havforskningsinstituttet, 2024)

### 1.3 Metoder for innsamling og lusetelling av planktonprøver

Det er henholdsvis to redskaper som er mest brukt for innsamling av planktonprøver med lakseluslarver. Den første er planktonhåv og den andre er pumpe. Planktonhåven kan trekkes vertikalt eller tråles horisontalt. Vertikale håvtrekk kan brukes for å sjekke spesifikke kvadratmeter av vannoverflaten for sammenligning med lakseluskartet (Figur 2). Planktonhåven muliggjør filtrering av planktonprøver, mens pumpen gjør det mulig å få en vannstrøm fra ulike dyp. Ved å bruke planktonhåv under pumping kan dette vannet filtreres (Dhargalkar & Verlecar, 2004). Vet man lengde på håving eller vannstrøms hastighet og tid under pumping er det mulig å beregne ca. hvor mye av vannet som filtreres. Etter at denne filtreringen er over, kan videre filtrering av ønsket størrelse begynne. Når det kommer til lakseluslarver er 150µm finfilter anbefalt (Fernandez-Gonzalez et al., 2022). Før planktonprøvene kan analyseres, konserveres de ofte i 70% etanol (Dhargalkar & Verlecar, 2004).

Luselarver kan telles på ulike måter. Manuell telling med lysmikroskop er ordinær praksis, men ansett som svært arbeidskrevende (Uglem et al., 2018). Sammenlignet med andre planktonorganismer som er hyppig registret, finnes frittflytende lakselus sjeldent i planktonprøver. Dette impliserer en nødvendighet om å analysere store mengder planktonprøver for å kunne kartlegge lakselus *in situ*. I 2021 ble det gjennomført en studie mellom ulike former for lusetelling av planktonprøver (Bui et al., 2021). Målet var først og fremst å kunne utfordre manuell mikroskopering. Her ble manuell mikroskopering sammenlignet med teknologiene fluorescensmikroskop, droplet digital PCR, kvantitativ fraksjon PCR, kvantitativ PCR og automatisert væskeavbildning (Bui et al., 2021). Selv om mikroskopering hadde høyest treffsikkerhet, viste fluorescensmikroskopi og automatisert væskeavbildning potensiale med tanke på tid tilknyttet metodene. Disse metodene kan som manuell mikroskopering se på spesifikke utviklingsstadier av lakselus, noe som er essensielt for å sammenligne data opp mot en spredningsmodell. Automatisert væskeavbildning er samtidig mindre avhengig av operatør.

Fluorescensmikroskopi farger spesifikke mål som lyser opp vha. eksitasjonslys under mikroskoperingen, som gjorde skillet mellom lakselus og annen plankton tydeligere (Bui et al., 2021). Automatisert væskeavbildning blir oppnådd ved bruk av flowcytometer og kamera, hvor et oppsett pumper og avbilder planktonprøven i en konstant strøm (Sieracki et al., 1998). Fluorescensmikroskop brukte 1/3 av tiden til lysmikroskopet, mens automatisert væskeavbildning brukte lenger tid grunnet manuell bildebehandling i stedet for instrumentets driftstid (Bui et al., 2021). Automatisert væskeavbildning manglet den samme treffsikkerheten til alternativet fluorescensmikroskop. Om denne prosessen kan automatiseres ytterligere med høyere treffsikkerhet vil den kunne konkurrere med mikroskopering samtidig som metoden tar for seg større prøver på kortere tid. Tidsbruk under

analyse og treffsikkerhet er noe bruk av kunstig intelligens kan forbedre via dyp læring (R. Chauhan et al., 2018).

## 1.4 Kunstig intelligens som analyseverktøy

Kunstig intelligens deles inn i to hovedkategorier, regelbaserte systemer og dype nevrale nettverk (Tidemann, 2023b). Sistnevnte bruker dyplæring for å tilegne disse nevrale nettverkene ny kunnskap og ferdigheter (Tidemann, 2023a). Eksempelvis kan mennesker vise en kunstig intelligent algoritme tusenvis av lamabilder og annotere hvor lamaene er på bildene. Dette er en måte å trene et kunstig nevralt nettverk. De begrensende faktorene for effektiv maskinlæring er mengde data og datakraft. Desto mer bilder av lamaer som blir vist til det nevrale nettverket på ulike måter, desto bedre intuitiv forståelse bygges opp. Etter hvert vil det dype nevrale nettverket selv kunne bestemme om det er et lama på et bilde, hvor lamaen/lamaene er, og sannsynligheten for at det er lama, om den synaptiske vektleggingen er riktig kalibrert (Tidemann, 2023a). Sannsynligheten vises ofte i prosent og fungerer som en score for evaluering. Denne prosentvise evalueringen kan endres på for å tillate flere eller færre gjenkjenninger og kalles konfidens. Objekt gjenkjenningen, også kalt konvolusjonelle nevrale nettverk (CNN), kan trenes til å gjenkjenne frittflytende nauplier og kopepoditter i planktonprøver.

I en publikasjon fra 2018 ble konvolusjonelle nevrale nettverk brukt sammen med videoanalyseteknikker for identifisering av planteplankton i vannmiljøer (Lloret et al., 2018). Forskningen benyttet et FlowCam-apparat, som satte sammen digital videobehandling, flowcytometri og mikroskopifunksjoner til et enhetlig verktøy. Dette verktøyet muliggjorde en omfattende vurdering av forekomsten av planteplankton i en gitt planktonprøve (Lloret et al., 2018). Ved å bruke avanserte maskinlæringsalgoritmer er det mulig å automatisere gjenkjenningsprosessen med kresen planktonfordeling, noe som øker effektivitet og presisjon sammenlignet med tradisjonelle metoder (González et al., 2019).

En annen studie tok for seg utfordringer knyttet til omfattende registrering av planktonprøver (Cheng et al., 2019). Med utgangspunkt i denne forutsetningen ble det utviklet et rammeverk for bildegjenkjenning ved å bruke konvolusjonelle nevrale nettverk for automatisk bildeklassifisering, og dermed strømlinjeforme registreringsprosedyrer. Resultatene viste at CNN-modellen ResNet 50 oppnådde gjenkjenningsrater på 95,52 % og 94,13 % (Cheng et al., 2019). Denne undersøkelsen understreker effektiviteten av å bruke kameraoppsett kombinert med bildegjenkjenningsprogramvare i planktonregistreringsprosesser (Cheng et al., 2019). Om datakraft er den begrensende faktoren, kan enklere CNN-modeller være løsningen. En bacheloroppgave ved NTNU Ålesund brukte bildegjenkjenningsprogramvaren YOLOv4 for gjenkjenning av lakselus (Jensen et al., 2021). Forskningen konkluderte med at 98,41% av lakselusen ble identifisert ved bruk av den utviklede

metoden. Siden er det lansert mindre, raskere og mer presise YOLO-modeller som kan teoretisk overgå disse resultatene (Kang & Kim, 2023). Et kontinuerlig samarbeid mellom Institutt for biologiske fag Ålesund og Chao Zhang har resultert i en YOLO-modell basert på YOLOv8 arkitektur som er trent til å gjenkjenne nauplier og kopepoditter i sjøvann (Zhang, 2024). Utfordrende forhold under videofilming av lakseluslarver er viktig for å videreutvikle en robust gjenkjenningsmodell i framtiden.

## **1.5 Formål**

I denne bachelor oppgaven ble to mål satt; (1) finne metoder for å effektivisere funn av lakseluslarver vha. et samspill mellom innhenting av ferske planktonprøver, videosystem og kunstig intelligens (YOLOv8-modell) som er trent på gjenkjenning av kopepoditter og nauplier, (2) se om funn fra feltprøver er over- eller underestimert til sammenligning av lakseluskartet.

## 2. Materiale og Metoder

### 2.1 Studiested

Første innsamling av planktonprøver startet den 26. februar kl. 18.55, og var ferdig gjennomført kl.12.20 den 27. februar ved NTNUs forskningscenter på Gudmundset, Møre og Romsdal, lokalisert ved koordinatene 62°27'10.7"N 6°36'03.0"E (Figur 3). Hensikten med første feltforsøk var å kunne se hvordan natt og dag spilte inn på forekomst og tetthet av nauplier og kopepoditter med oppdrettsmerder i et 24 timers feltforsøk. Rundt hver andre time ble en prøve samlet utenfor merd GU21 (Tabell 1). En prøve bestod av fem nedsenkinger og opptrekk av hån på 20 meter. Prøvetakingene skjedde parallelt med en annen bachelor gruppe (Mostad et al., 2024). Feltforsøk ble brutt prematurt grunnet utvikling av noe (moderat) sjø.

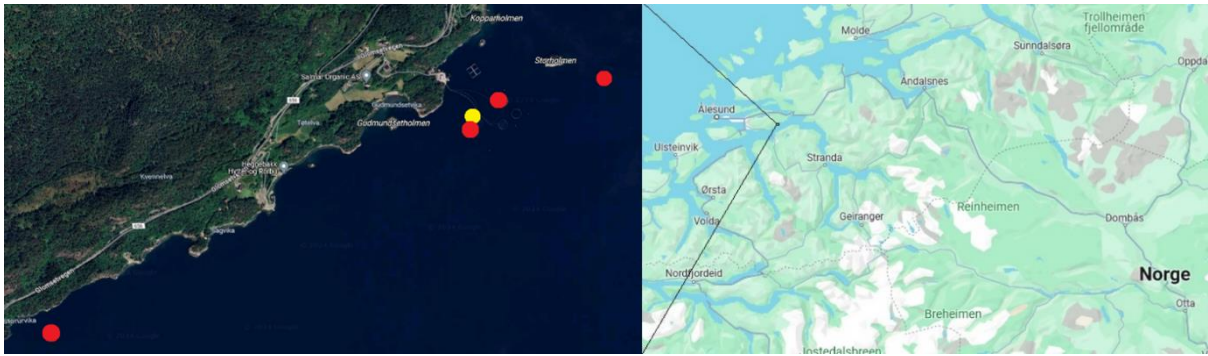
**Tabell 1.** Oversikt over tid brukt til håving og filtrering av alle prøver fra første feltforsøk. En prøve bestod av fem delprøver. Håving og filtrering ble gjort fem ganger for hver prøve.

Tid brukt med håving og filtrering i første feltforsøk							
Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 4	Prøve 5	Prøve 6	Prøve 7	Prøve 8
18.55-19.55	21.35-22.15	23.50-00.35	02.10-02.50	04.30-05.05	06.50-07.30	09.30-10.10	11.40-12.20

**Tabell 2.** Oversikt over tid brukt til håving og filtrering av alle prøver fra andre feltforsøk. En prøve bestod av fem delprøver. Filtrering ble gjort etter at alle delprøvene var samlet til en prøve.

Tid brukt og fordeling av 3 prøver på hver lokasjon					
GU21 62°27'09.5"N 6°36'03.2"E			GU23 62°27'13.4"N 6°36'10.4"E		
GU21 prøve 1	GU21 prøve 2	GU21 prøve 3	GU23 prøve 1	GU23 prøve 2	GU23 prøve 3
10.30-10.50	10.55-11.15	12.30-12.45	11.25-11.40	11.45-12.00	12.05-12.20
Østpunkt 62°27'16.92"N6°36'44.28"E			Vestpunkt 62°26'40.92"N6°33'59.04"E		
ØP prøve 1	ØP prøve 2	ØP prøve 3	VP prøve 1	VP prøve 2	VP prøve 3
13.15-13.30	13.35-13.50	13.55-14.10	14.50-15.05	15.10-15.25	15.30-15.45

Innsamling av de andre planktonprøvene ble gjennomført den 4. April fra kl. 10.30 til 15.45 under avlusing hos oppdrettsanlegget (Tabell 2). Denne dagen ble planktonprøvene hentet fra fire ulike områder – utsiden av merdringene GU21 og GU23, samt forankrede livbøyer i et vest- og østpunkt (Figur 3). Vestpunktet var 2km unna anlegget, mens østpunktet var 530m fra anlegget.



**Figur 3.** Lokasjonen for Gudmundset er gitt på høyre side, mens eksakte lokasjoner for innhenting av planktonprøver er gitt ved fargede sirkler på venstre side. Gul sirkel er planktonprøver hentet den 26.-27. Februar. Røde sirkler er planktonprøver hentet den 4. April

Dette anlegget er et kommersielt lakseanlegg og forskningscenter. Vanddybden i området med oppdrettslaksen ligger mellom 90-140 meters dyp (Langvatn & Larsen, 2012). Vannstrømmen ble ikke registrert som anormal under forsøksperiodene og kommer vanligvis fra vest (Langvatn & Larsen, 2012). Under det andre feltforsøket var sjøtemperaturen målt til 6 grader celsius, og det var registrert 0.45 adult lakselus per fisk før avlusing på oppdrettsanlegget (Barentswatch, 2024). Studiested var representativt for andre lokaliteter i regionen. Selve produksjonen var til dels lavere enn andre lokaliteter (Langvatn & Larsen, 2012). Lokaliteten hadde seks sirkelmerder stående under forsøkene. Alle disse merdene hadde fisk. Totalt antall fisk var på 548 629, og med en total gjennomsnittsvekt på 2343 gram. Dette ga en total biomasse på 1285 tonn. Lokaliteten har en MTB-tillatelse på 1560 tonn (Langvatn & Larsen, 2012).

## 2.2 Prøvetakingsutstyr og metode for samling av planktonprøver

Ved samling av planktonprøver ble to planktonhåver benyttet gjennom vertikale trekk på 20 meter (Figur 4). Håvene ble trukket jevnt opp for hver prøve ved en hastighet på 0,5m/s. Håvene hadde en åpning på 0,2m<sup>2</sup>. Håvens maskestørrelse var på 125µm. Etter hvert vertikale trekk, ble planktonrester liggende i håven samlet på best mulig måte, og endte oppi planktonkammer som silte ut vatn på sidene (Figur 5). Planktonet ble så skylt gjennom et 500 µm grovfilter før det falt i en bøtte som samlet 5 vertikale trekk på 20 meter hver til en prøve. Mellom hver avrenning med grovfilter, ble filterets bunn dypet og forsøkt vasket for å få med planktonrester mindre enn 500 µm. Bøttens innhold ble så filtrert med finfilter, en maskestørrelse på 150 µm. Deretter ble finfilteret spylt på andre siden for å få resterende plankton mellom 150 µm og 500 µm ned i et prøveglass. Denne prosessen ble gjentatt tre ganger for å få tre ulike prøver fra hver lokasjon (3 prøver x 4 lokasjoner = 12 prøver). Hver prøve bestod av ca. 20m<sup>3</sup> filtrert sjøvann (3 x 4 x 20m<sup>3</sup>). Totalt ble underkant av 240m<sup>3</sup> (244 800 liter) sjøvann filtrert på et par timer. Det ble ikke brukt måling av vanngjennomstrømming. Halvparten av det filtrerte sjøvannet var filtrert på et vestpunkt og et østpunkt lengre unna anlegget (Figur 3). Resten ble filtrert ankret til to ulike merder, GU21 og GU23, hvorav GU23 opplevde aktiv



trenging for avlusing. Hvert prøveglass ble merket etter hvor den ble tatt og hvilke av de tre prøvene det var. Is kom ikke i bruk under lagring av disse prøvene grunnet utetemperatur på 4 grader i løpet av forsøket. Disse prøvene ble tatt med til NTNU for videofilming kort tid etterpå.



**Figur 4.** 20m håvtrekk på østpunktet



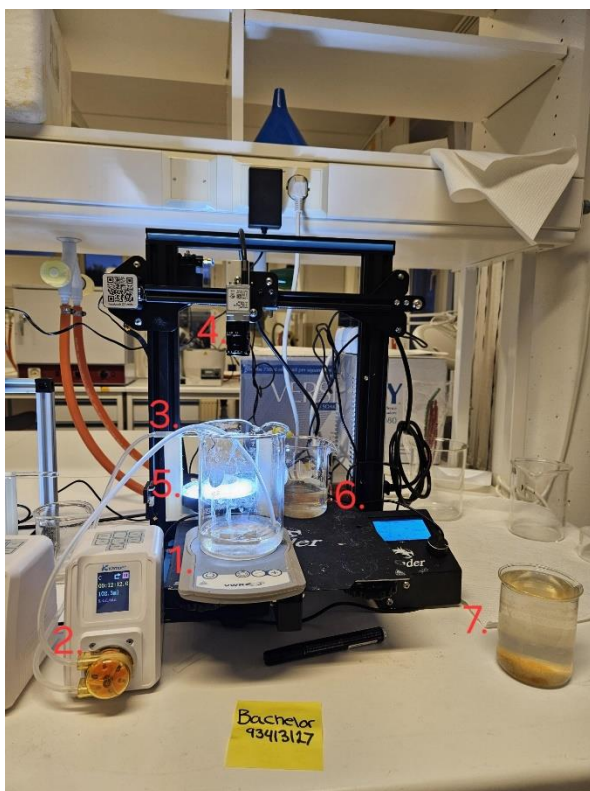
**Figur 5.** Planktonkammer med 125µm filter på sidene

## 2.3 Videofilming av planktonprøver

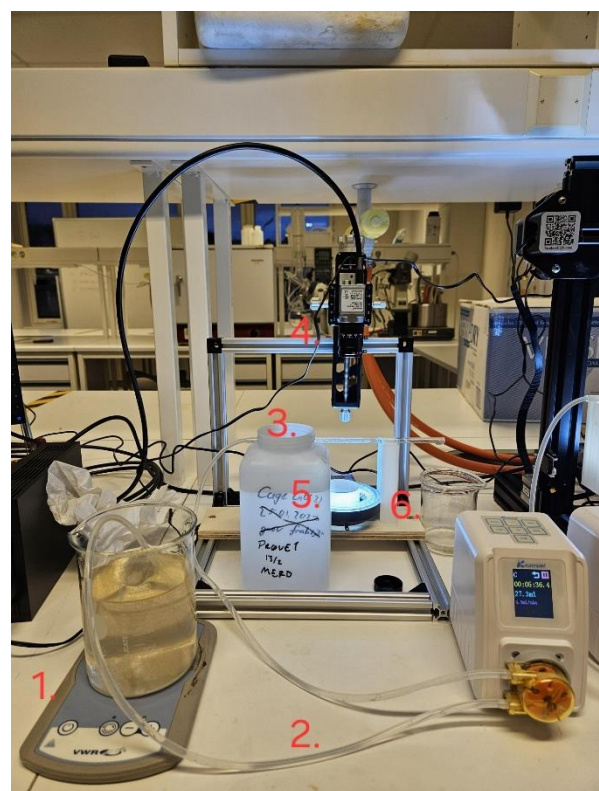
Videofilming ble gjennomført på NTNU Ålesund ved et av IBAs laboratorium mellom 4-5 april for avbildning av levende planktonprøver. Før filming kunne begynne, ble prøvene lagt på is i isoporkasse etter å ha kommet fra det andre feltforsøket. Filmingen startet i kronologisk rekkefølge for å forenkle navngiving på videofiler. Opptak ble gjort på en stasjonær PC via programvaren pylon Viewer (Basler, 2024). Dette programmet gjorde innstillinger enkelt å egendefinere for to samtidige filminger. Oppsett for videofilming bestod av to svært like kameraoppsett og flowsystem (Figur 6) (Figur 7), hvor de kunne filme samtidig for å framskynde videofilming av alle planktonprøvene. Oppsettet for det svarte 3D-printer stativet (videorigg 1) blir detaljert (Figur 6). Forskjeller mellom videorigg 1 og 2 for videofilming blir opplyst fortløpende.

Videorigg 1 bestod av en 3D-printer ramme for å holde oppe kamera (Basler a2A1920-160umPRO, LDA35 linse). Dette kunne stilles for å få riktig høyde på kamera og fokus under filmingen. Det andre kameraoppsettet gjorde dette mulig gjennom manuell innstilling. Før videofilming kunne igangsettes, måtte flere prosedyrer følges.

Først måtte tillaging og forberedelser av prøven gjøres. Prøven ble skylt ut i 500ml begerglass og fortynnet med sjøvann slik at løsnings ble totalt 500ml etter utprøving av mindre mengde sjøvann. Mer sjøvann reduserte tettheten av plankton i prøven. For å få god omrøring under videoopptak satt kolbene på magnetrører (VWR Lab disc) med magnetisk rørestav i løsningen som rørte. Deretter ble to gummirør koblet sammen til en peristaltisk pumpe (Kamoer M1-STP). Første enden ble lagt oppi løsningen som pumpet prøve ut av kolben, mens den andre ble koblet sammen med et observasjonskammer hvor prøven strømmet igjennom. Dette observasjonskammeret ble filmet, og derfor vasket godt mellom hver prøve. Mindre kolbe ble lagt under observasjonskammeret hvor den pumpede prøven endte opp.



**Figur 6.** Videorigg 1. Peristaltisk pumpe til venstre med to utstikkende gummirør. En går ned i utblandet prøve stående på magnetrører (1) oppå kameraoppsettet og pumper prøve ut (2). Det andre gummirøret er tilkoblet observasjonskammeret bak den utblandete prøven og pumper prøven gjennom observasjonskammeret (3). Kamera er stilt inn rett over og ser ned på observasjonskammeret (4). Lys kommer fra nedsiden med lysring som står bak den utblandete prøven (5). Lite begerglass til høyre for observasjonskammeret tar imot pumpet prøve (6). Fullt begerglass i høyre hjørne (7)



**Figur 7.** Videorigg 2. Peristaltisk pumpe til høyre med to utstikkende gummirør. En går ned i utblandet prøve stående på magnetrører (1) og pumper prøve ut (2). Det andre gummirøret er tilkoblet observasjonskammeret bak sjøvannbeholderen og pumper prøven gjennom observasjonskammeret (3). Kamera er stilt inn rett over og ser ned på observasjonskammeret (4). Lys kommer fra lysring som ligger under observasjonskammeret (5). Lite begerglass til høyre for observasjonskammeret tar imot pumpet prøve (6)

Neste steg var å klargjøre alt tilknyttet den stasjonære PCen. Programvaren pylon Viewer viste tilkoblede kameraenheter. Ved å klikke på et av kameraene kunne individuelle innstillinger settes opp. Begge kameraene tok opp 24fps (frames per second), men med ulik eksponeringstid (Exposure Time). Videorigg 1 hadde sterkere lysring under og trengte derfor bare 250 $\mu$ s eksponeringstid. Videorigg 2 trengte 500 $\mu$ s eksponeringstid grunnet lavere lysstyrke i lysring. For at bildekvaliteten under videofilming skulle være tilnærmet like god mellom de ulike videoriggene, kjørte den peristaltiske pumpen med lengst eksponeringstid på 4.3ml/min, mens den med kortest eksponeringstid kunne ha raskere gjennomstrømming på 8.4ml/min. Forhåndsvisning uten filming gjorde det mulig å stille på observasjonskammeret for å få klart bilde fra hele prøven før den ble pumpet igjennom. Endring av lyseksponering gjorde det lettere å se hvor det var uklart i deler av bildet før selve innspillingen. Endringen ble gjort ved å skru på siden av kameralinsen for å åpne eller lukke den for mer lys. Under videofilmingen av prøvene ble de mindre kolbene som var plassert under observasjonskamrene byttet ut etter hvert som de ble oppfylt. Bobler og andre komplikasjoner som dukket opp under avspilling ble håndtert underveis.

## **2.4 Videoanalyse av planktonprøver**

Videoanalyse av planktonprøver er tredelt. Først måtte alle videofilmer spilles av for en YOLO-modell basert på YOLOv8. Chao Zhang laget en modell som har blitt trent på å identifisere nauplier og kopepoditter i planktonprøver (Zhang, 2024). Første avspilling og form for videoanalyse ble gjennomført den 19. april med 60% konfidens. Den eneste måten å kunne kontrollere treffsikkerheten til bildegjenkjenningsprogramvaren var å manuelt telle over de samme videoene. Dette ble gjennomført mellom 22-23 april. Andre analyse ble gjennomført den 11. mai med 10% konfidens. Lavere konfidens betyr at mer data er tillat til å bli tolket som nauplier eller kopepoditter.

### **2.4.1 Gjenkjenning ved bruk av kunstig intelligens (YOLOv8)**

Etter gjennomført videofilming og riktig navngiving av videofiler ble disse videoene merket og kjørt vha. kommandolinjer for oppstart og klargjøring av YOLOv8-modellen. Her ble ønsket innstillinger for den trente YOLOv8-modellen definert. Prosentvis konfidens tillat for å gjenkjenne nauplius og kopepoditter ble satt til 60% i første videoanalyse, og 10% i andre videoanalyse. Når YOLO-modellen trodde den så bilder av luselarver kom en rød boks til syne rundt hvor gjenkjenningen ble registrert. I øvre venstre hjørne av de røde boksene ble konfidens score om det var luselarve gitt i desimaler (Figur ). Innholdet i disse røde boksene ble klipt ut som skjermbilder og lagt i en ny filmappe for oversikt over alle funn (Figur ). Disse skjermbildene ble navngitt etter tidspunktet i videoen de ble tatt. Det var også lagt til luseteller av levende nauplier eller nauplier skall i venstre hjørne (Figur ).



**Figur 8.** Falsk positiv er annotert med 74% konfidens. Luseteller i grønn tekst



**Figur 9.** Automatisk utklipp fra figur 8 gjort av KI

## 2.4.2 Gjenkjenning ved manuell telling

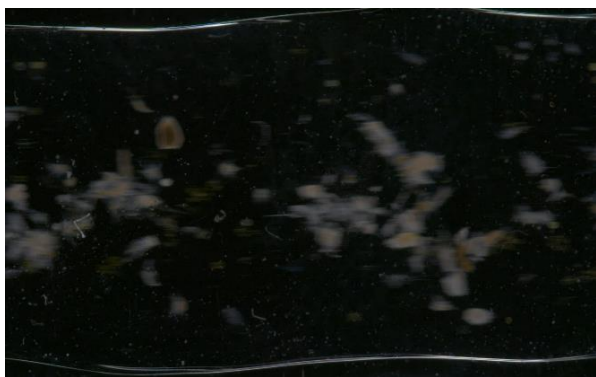
Gjenkjenning ved manuell telling ble gjort som et sikkerhetstiltak. Før videoene kunne telles manuelt, ble alle funn i skjermbildemappen, lagt til av YOLO-modellen, gjennomgått for å kartlegge om den fant noen nauplier eller copepoditter. Siden skjermbildefunnene legges i kronologisk rekkefølge etter videoens tidsrom, ble det viktig å se etter serier av bilder som lignet hverandre i det tidsrommet en luselarve kunne bevegde seg inn og ut av bildet. Skjermbilder som kunne minne om luselarve ble sjekket opp mot den aktuelle videoen og tidsrommet skjermbildet/skjermbildene ble tatt fra.

Etter kartlegging av YOLO-modellens funn ble tre tilfeldige videofilmer fra tre lokasjoner valgt. Disse var «Merd 1 prøve 1» (GU21), «Merd 2 prøve 2» (GU23), «Østpunkt prøve 2». Alle videoene ble spilt inn på ca. 1 time hver og brukte den raskeste peristaltiske pumpen (hastighet 8.4ml/min). Videoene ble spilt på en hastighet mellom 0.3-0.4x videoens originale hastighet. Det ble tatt flere pauser i løpet av sekunder. Under tvil ble tilbakespilling av video nødvendig. Alle funn etter manuell telling som kunne minne lakseluslarver ble kartlagt på excel (Vedlegg 1). Disse funnene ble så revurdert etter at alle videoene var gjennomgått. Uidentifiserte plankton som fortsatt kunne være luselarver ble merket med rødt tidsstempel. Tidsstempling og annen kategorisering fungerte som hjelpemidler for å kunne finne manuelle funn om igjen og vise til veileder for en siste vurdering.

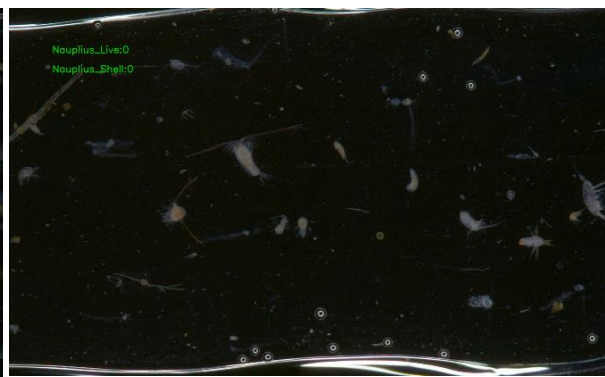


## 3.0 Resultater

Første feltforsøk hadde som formål å se på hvordan natt- og dagsykluser spilte inn på antall lakseluslarver. I disse 8 prøvene ble ca. 160m<sup>3</sup> med sjøvann filtrert. Ingen nauplier eller kopepoditter ble funnet. Det var bevegelsesuskarphet og høy tetthet i prøvene under filmingen (Figur 10). Det gjorde at de første prøvene ble utelatt fra videre vurdering og manuell telling. Disse lærdommene ble tatt med videre i det andre feltforsøket (Figur 11). Forkastede feltprøver resulterte i nytt feltforsøk med nytt formål. Her ble målet å kunne effektivisere samspillet mellom innhenting av ferske planktonprøver, videofilming, og bruk av kunstig intelligens som er trent på å gjenkjenne luselarvene, samt å sjekke for luselarver i ulike punkter som kunne bli sammenlignet opp mot spredningsmodellen. I disse 12 prøvene ble i underkant av 240m<sup>3</sup> med sjøvann filtrert. Bare nauplier ble funnet, noe som gjorde en direkte sammenligning med spredningsmodellen umulig.



**Figur 10.** Bilde tatt i full bevegelse, første feltforsøk (prøve 1)



**Figur 11.** Bilde tatt i full bevegelse, andre feltforsøk (prøve 1)

## 3.1 Praktiske erfaringer og bruk av utstyr/metode

### 3.1.1 Innsamling og lagring av planktonprøver

Hvert opptrekk ble utført på gjennomsnittlig 45 sekunder. Samling av planktonrester liggende i håv og opp i planktonkammer tok lang tid for å skylle filter vegger. Det hjalp å bruke sjø fra utsiden til å vaske og konsentrere planktonet ned i delprøven. Istedenfor å filtrere hver delprøve for seg (som ble gjort i første feltforsøk), var det mer effektivt å samle alle delprøvene i en bønne, og så ta felles filtrering til det som utgjorde prøven. Det tok ca. 15 minutter å lage til en prøve med fem nedsenkninger av håv til 20 meter, fem opptrekk, fem oppkonsentreringer, og filtrering av grovt deretter fint filter. All prøvetaking ble gjort under forankring som trolig har gjort disse prosessene lettere kontra frittflytende båt. Denne tiden kan halveres med flere som gjennomfører innsamlingen. Ved flere trekk burde telleklokke benyttes, ettersom det er lett å glemme hvilken delprøve man trekker opp. Spesielt om dette gjøres med flere. Selv om det er kald utetemperatur under lagring av prøvene,

burde prøvene stå på is. Lagring med is ble brukt i første feltforsøk selv om utetemperaturen var lav og resulterte i bedre lagring enn andre feltforsøk.

### **3.1.2 Videofilming av planktonprøver**

Videofilming av flere prøver fra første felt ble gjort på en bærbar PC under innsamling. Dette var uheldigvis ikke mulig under andre feltforsøk. Videofilming og innsamling samtidig gjør at ferske planktonprøver kan filmes rett etter prøvene er ferdig tillaget for filming. Ferske planktonprøver er lettere å identifisere enn eldre prøver, siden plankton går ofte i oppløsning uten etanol behandling. Denne YOLO-modellen er trent spesifikt på ferske planktonprøver som gjør analyse ved etanol behandling vanskeligere.

Videofilming av planktonprøver fra det andre feltforsøket resulterte i ulik bildekvalitet. De første prøvene som var filmet i løpet av samme dag som innsamling gav de beste resultatene med tanke på bildekvalitet. Her ble det observert færre oppløste planktonrester og bobler. De første prøvene med best observert bildekvalitet var alle merd prøver. Resterende prøver som ble filmet dagen etter var alle prøvene fra vest- og østpunktet. Alle videoer kunne ikke bli filmet samtidig pga. mengde prøver, antall timer mellom hver film og tilberedning til neste filming.

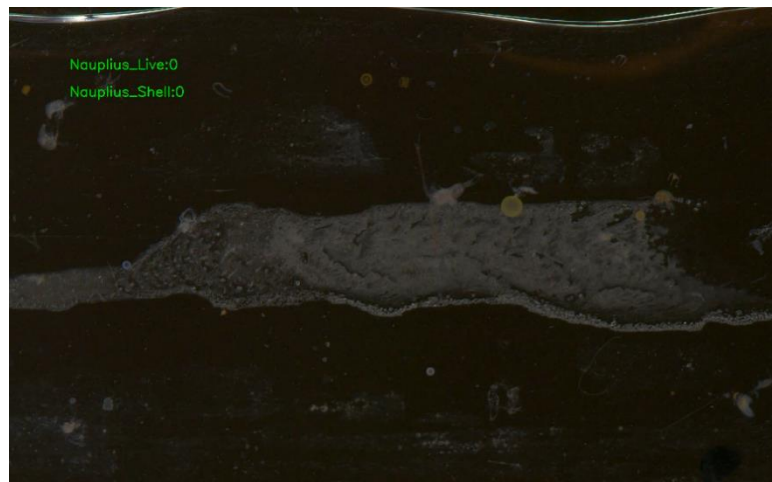
### **3.1.3 KI analyse av planktonprøver**

YOLOv8 filmanalyse med 60% konfidens resulterte i et gjennomsnitt på 7 921 falske positive bilder fordelt på 12 prøver. Endring av konfidens fra 60% til 10% endret også antall gjennomsnittlige falske positiver til 24 956 (Tabell 3). Dette skaper mer etterarbeid, men siden det meste var bobler ble det lettere å kontrollere (Figur 12c & d). Under filming ble det observert flere bobler med videorigg 1 enn 2. Videorigg 1 produserte i gjennomsnitt 33 703 falske positiver, mens videorigg 2 produserte i gjennomsnitt 12 710 falske positiver fra analysen med 10% konfidens.

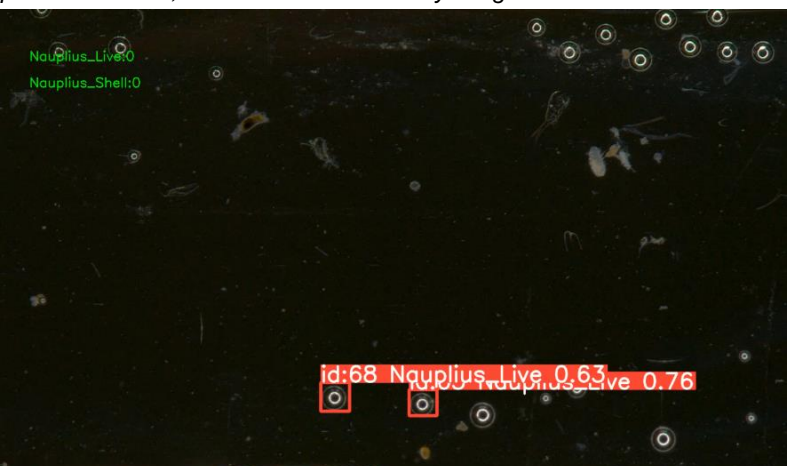
Andre ting som dukket opp i videoanalysene som falske positiver var ulik form for plankton, planktonrester, krepsdyr, dinoflagellater, pluteus larver, luftbobler og glass/glassrefleksjoner (Tabell 3). Utover dette var sikt for planktonprøvene varierende. Bobler, planktonrester og andre partikler fra oppløst plankton akkumulerte mot toppen av observasjonskammeret hvor kameraet filmet (Figur 12a). Tiltak for å bedre filming i disse tilfellene kunne ende med ugunstig belysning og bakgrunn (Figur 12e). Ved håndtering av observasjonskammeret kunne sjøvann fra prøven renne på andre siden av observasjonskammeret, som lagde en tynn saltvannsfilm (Figur 12b). I noen tilfeller ble dette forvekslet med planktonrester og ikke fjernet under filming. Håndtering av større plankton klumper som skapte blokade ble dyttet vekk med børste (Figur 12f). Se vedlegg for fire ulike bilder fra alle prøvene (Vedlegg 2). Bildene er oppsatt i kronologisk rekkefølge og viser utvikling av disse prøvene over tid.



**Figur 12a.** En kopepode forsvinner bak akkumulerte planktonrester i venstre hjørne. Bobler setter seg fast og vokser seg større med planktonrestene, noe som reduserer sikt ytterligere.



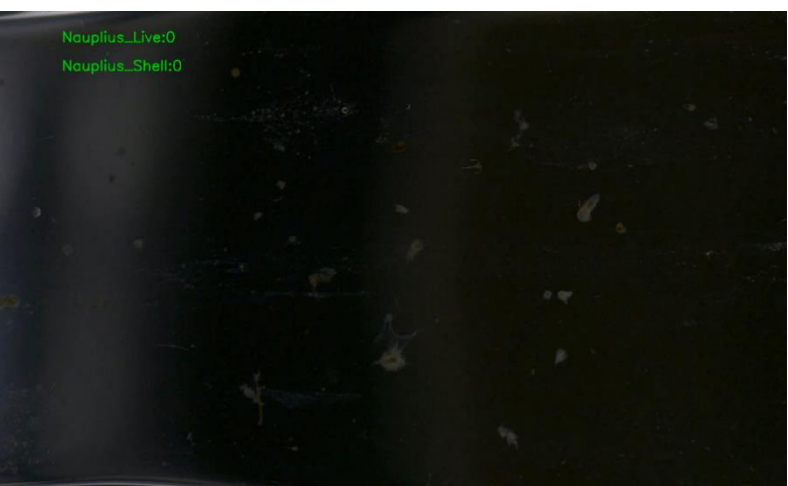
**Figur 12b.** Planktonrester og saltfilm. Skjerm bilde tatt i kort tidsrom med dårligst sikt.



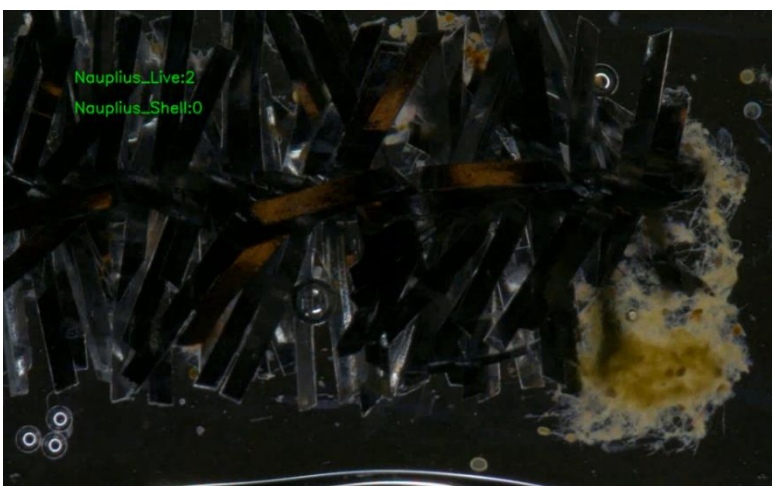
**Figur 12c.** Fra østpunkt prøve 1, 60% konfidens. Færre bilder av bobler blir annotert hvert sekund sammenlignet med 10%.



**Figur 12d.** Fra østpunkt prøve 1, 10% konfidens. Bilder av 3 bobler blir annotert flere ganger i sekundet.



**Figur 12e.** Filming unna planktonrester og bobler. Side av lysring skaper en bakgrunn som ikke er trent med denne YOLO-modellen.



**Figur 12f.** Børste brukes for å dytte vekk plankton klump som skaper dårlig sikt og høyere pumpeeffekt rundt klumpen.

**Figur 12.** Det er samlet ulike bilder som viser ulike problemstillinger. Dette er med på å illustrere hvordan utfordringer under videofilming kan føre til dårligere videoanalyse

**Tabell 3.** Oversikt over skjermbilder fra prøvene fra andre feltforsøk. Skjermbildene er delt inn i hvilken konfidens innstilling analysen er kjørt på, og antall ekte positive og falske positive som er registrert under. (R1) og (R2) indikerer videorigg 1 og 2. Antall i parentes er totalt antall bilder av lakselus i video. Falske positive årsaker er en generell vurdering over dominerende falske positive i hver prøve og er ment som et overblikk.

Prøve	60<% konfidens		10<% konfidens		Falske positive årsaker
	Antall bilder falske positive	Antall bilder ekte positive	Antall bilder falske positive	Antall bilder ekte positive	
Merd 1 prøve 1 (R1)	374	15 (21)	5342	20 (21)	Bobler, glassrefleksjon, pluteus larver og dinoflagellater
Merd 1 prøve 2 (R2)	2406	0	29973	0	Bobler, krepsdyr, pluteus larver og glassrefleksjon
Merd 1 prøve 3 (R1)	826	0	17191	0	Glassrefleksjon, plankton rester, bobler og krepsdyr
Merd 2 prøve 1 (R2)	45	0	5670	2 (56) 1 (33)	Glassrefleksjon, plankton rester, bobler og krepsdyr
Merd 2 prøve 2 (R1)	48	0	4290	1 (18)	Bobler og glass
Merd 2 prøve 3 (R2)	101	0	5451	0	Bobler, dinoflagellater, glass og pluteus larver
Vestpunkt prøve 1 (R1)	32517	0	90766	0	Bobler og pluteus larver
Vestpunkt prøve 2 (R1)	43	0	2740	0	Glassrefleksjon, bobler og pluteus larver
Vestpunkt prøve 3 (R2)	5980	0	22034	0	Bobler, krepsdyr og annen plankton
Østpunkt prøve 1 (R1)	11672	0	27378	0	Bobler, glass, pluteus larver, krepsdyr og dinoflagellater
Østpunkt prøve 2 (R1)	41034	0	88219	0	Bobler, glassrefleksjon, pluteus larver, annen plankton og krepsdyr
Østpunkt prøve 3 (R2)	13	0	426	0	Krepsdyr, pluteus larver, luftboble,



## 3.2 Funn av lakseluslarver fra planktonprøver

Det ble funnet 4 nauplier fra de 12 prøvene fra det andre feltforsøket (Tabell 4). Hvert opptrekk dekker 0,2m<sup>2</sup> og blir gjort fem ganger for hver prøve.  $5 \times 0,2\text{m}^2 = 1\text{m}^2$ . En prøve dekker 1m<sup>2</sup> og deles på antall prøver som er tatt fra hver lokasjon. En nauplie funnet på en lokasjon gir  $1 / 3 = 0,33$  Nauplier/m<sup>2</sup>.

**Tabell 4.** Oversikt over prøvene tatt fra andre feltforsøk med antall nauplier og nauplier funnet per kvadratmeter. Antall nauplier deles på antall prøver samlet fra den spesifikke lokasjonen

Lokasjon	Prøve nr.	Nauplier	Nauplier/m <sup>2</sup>
GU21:	1.	1	0,33
	2.	0	0
	3.	0	0
GU23:	1.	2	0,66
	2.	1	0,33
	3.	0	0
VP:	1.	0	0
	2.	0	0
	3.	0	0
ØP:	1.	0	0
	2.	0	0
	3.	0	0

### 3.2.1 Korrekt identifisering ved hjelp av YOLO-modellen

Den første videoanalysen av alle prøvene ble gjennomført den 19. april og innstilt med en konfidens på 60%. Her ble 15 ekte positive bilder tatt av en nauplie fra videofilm «Merd 1 prøve 1» (GU21). Konfidens som ble registrert var fra 65-87%. Den andre videoanalysen av alle prøvene ble gjennomført den 11. mai med innstillinger på 10% konfidens. I tillegg til fem nye gjenkjente bilder fra første lakselus, ble tre nye nauplier oppdaget på to eller et bilde hver (Tabell 3). Alle tre ble funnet ved merd GU23 under pågående trenging; to i prøve 1 og en i prøve 2. Nauplie nummer to ble funnet på 15% og 16%, nauplie tre ble funnet på 18%, og nauplie fire ble funnet på 47% (Figur 16) (Figur 18) (Figur 20). Flere nærmest identiske bilder av disse lakselusene ble ikke gjenkjent av YOLO-modellen (Figur 13) (Figur 15) (Figur 19). Nauplius nummer tre var vanskeligere å identifisere, siden den lå godt gjemt bak planktonrester samtidig som kroppen lå dårlig til for kamera (Figur 17) (Figur 18).



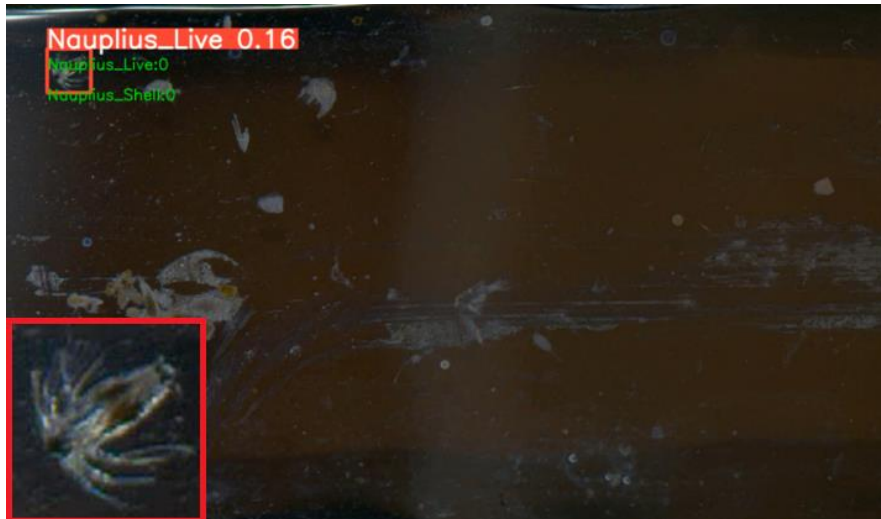
**Figur 13.** Tydelig uidentifisert nauplius 1, nærmest identisk gjenkjenningen av YOLO-modellen på 87% noen bilder etter. Hvit partikkel i bakgrunnen kan forstyrre gjenkjenningen (Merd 1 prøve 1)



**Figur 14.** Identifisert nauplius 1. Ingen hvit partikkel i bakgrunnen (Merd 1 prøve 1)



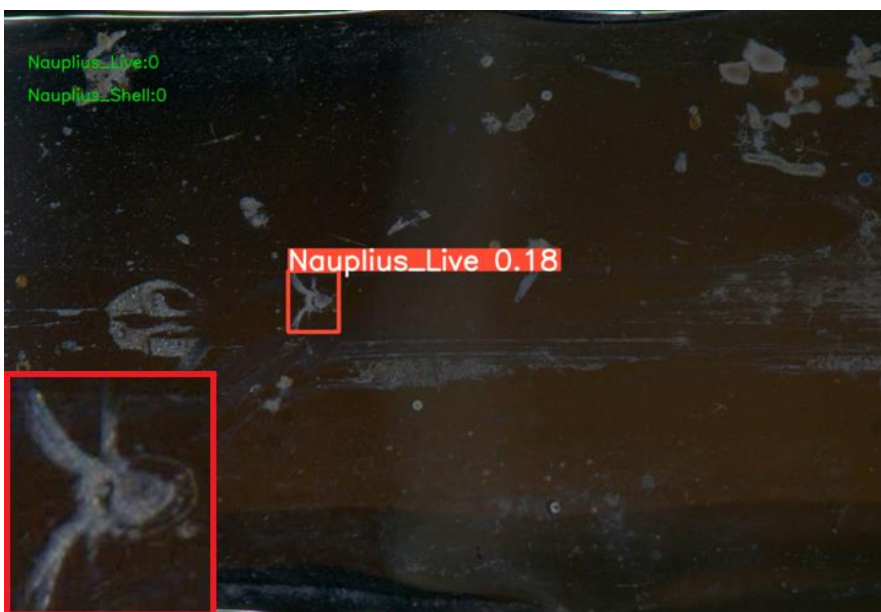
**Figur 15.** Tydelig uidentifisert nauplius 2. Noen planktonrester skjærer for nauplien (Merd 2 prøve 1)



**Figur 16.** Identifisert nauplius 2. Flere nøkkelindikatorer kommer bedre frem. Mørkere bakgrunn enn Figur 20 (Merd 2 prøve 1)



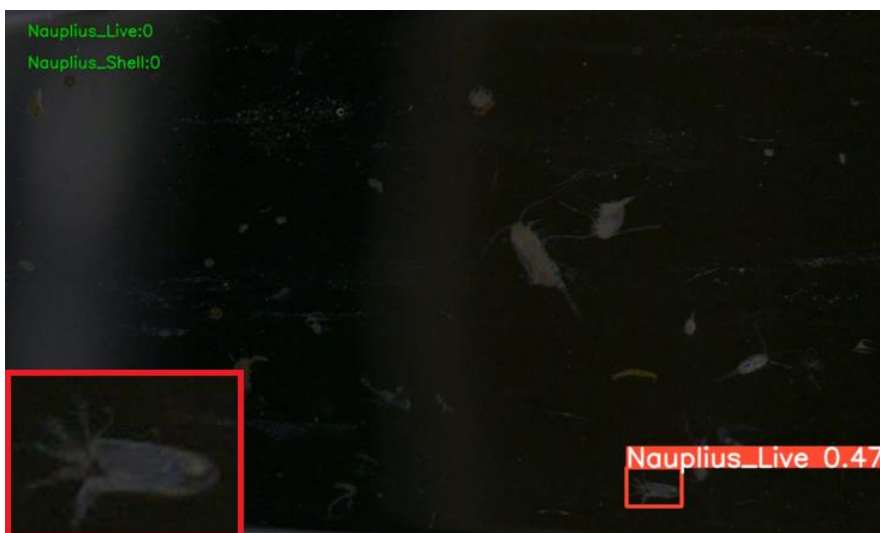
**Figur 17.** Uidentifisert nauplius 3 gjemt bak planktonrester (Merd 2 prøve 1)



**Figur 18.** Tydeligste bilde av identifisert nauplius 3 med omriss av kroppen (Merd 2 prøve 1)



**Figur 19.** Tydelig bilde av uidentifisert nauplius 4 etter nærmest identisk identifiseringsbilde (Merd 2 prøve 2)



**Figur 20.** Identifisert nauplius 4 (Merd 2 prøve 2)

### 3.2.2 Manuell kontrolltelling av videoer

Etter at den første videoanalysen med 60% konfidens var gjennomført, ble tre tilfeldige videoer valgt for å kontrollere om det var flere uidentifiserte lakselus. Siden det ble funnet en nauplie i videofilm «Merd 1 prøve 1» ble denne gjennomgått først. Ingen flere nauplier ble funnet i en manuell telling av denne prøven. Videofilmene «Merd 2 prøve 2» og «Østpunkt prøve 2» ble så gjennomgått på identisk vis som første prøven. Ingen nauplier ble funnet. Etter ny analyse med lavere konfidens kom det frem at en gjennomiktig nauplie ble oversett i denne manuelle tellingen. Følgelig fremstår KI som mer treffsikker enn manuell telling. Den manuelle tellingen tok over 15 timer på 3 videoer (Vedlegg 1). Gjennomgang av YOLO-modellens funn på 10% konfidens for alle 12 prøvene tok over 3 timer (Tabell 3).

## 4.0 Diskusjon

### 4.1 Utstyr/metode

I første feltforsøk ble alle prøvene samlet med en håv. I andre feltforsøk ble to planktonhåver brukt samtidig. Det ble brukt samme metode for hvert forsøk og er derfor ingen grunn til å tro at håving påvirker resultatet. Det var derimot mangel på propellmåler i håvene, noe som gjør at mengde sjøvann filtret er vanskelig å stadfeste sikkert. I de fleste feltforsøk hvor nauplier og kopepoditter skal filtreres er 150 µm finfilter foretrukket (Fernandez-Gonzalez et al., 2022). Feltforsøkene gjennomført i dette studie er ingen unntak. Metoder for å fjerne plankton fra den øvre grensen (500 µm) kan bli sett nærmere på, ettersom at det åpner for fjerning av unødvendig plankton. En fare kan være at nauplier og kopepoditter som er festet til større klynger eller plankton også vil forsvinne. Nelson et al. (2018) hadde grunn til å tro at nauplier benyttet mikrohabitat til å holde seg nærmere anlegget med potensielle verter (Nelson et al., 2018). Med andre ord burde måter å kunne skille større plankton fra prøver uten å fjerne mulige luselarver testes. Dette vil kunne redusere mengde sjøvann som er nødvendig uten at det går utover tetthet. For høy tetthet kan føre til overlappning av plankton slik at KI-modeller ikke har mulighet til å gjenkjenne luselarver. Følgelig vil tid det tar for å filme og analysere disse prøvene med mindre mengde sjøvann reduseres.

Tid fra prøvene ble innhentet til at de ble filmet hadde stor innvirkning på antall bobler og planktonrester registrert i prøvene (Tabell 3). Dette kan sees i sammenheng med at ferske planktonprøver oppløser seg på kort tid, hvor lagring av is kan være nødvendig med utetemperatur selv på 4 grader. Vanligvis er planktonprøver behandlet med formaldehyd buffer og etanol for å bevare prøvene under ordinær indentifisering med mikroskop (Dhargalkar & Verlecar, 2004). Når disse kjemikaliene vaskes over prøven, kombinert med høye temperaturer og sterkt lys blekes ofte den naturlige pigmenteringen til nauplius I og II (Schram, 2004). I et større tokt hvor ulike metoder for indentifisering av luselarver ble testet, lot de være å indentifisere nauplier, fordi pigmenteringen var i fare for å forsvinne (Skarðhamar et al., 2019). Metoder som lar luselarver bli indentifisert fra ferske planktonprøver kort tid etter innsamling gjør at pigmentering kan brukes som en nøkkelindikator og forenkle indentifisering. I første feltforsøk ble videofilming av flere planktonprøver tatt nærmest samtidig som innhenting av disse prøvene. I tillegg ble det brukt isoporkasse med is hele tiden for prøvene som ventet på å bli filmet. Under filming av disse prøvene ute i båt ble ingen akkumulering av planktonrester registrert. Større luftbobler kunne passere observasjonskammeret, men disse boblene ble enkelt fjernet.

Videorigg 1 og 2 skilte seg ut ved at de hadde ulike lyskilder. Dette hadde stor effekt på kameraets eksponeringstid, og derfor tid brukt mellom videoriggene for å filme samme mengde utblandet prøve. Først og fremst burde samme lysstyrke brukes fremover for å få lik hastighet om flere videorigger brukes samtidig. Deretter burde anbefalt eksponeringstid for de gitte lyskildene lagres i innstillingene. I første feltforsøk ble 2500  $\mu$ s eksponeringstid brukt når det egentlig skulle være 250  $\mu$ s. Det resulterte i høy grad av bevegelsesuskarphet (Figur ), hvor pumpehastighet måtte ha vært 1/10 for å ha lik skarphet som eksponeringstid på 250  $\mu$ s. Om sterkere lyskilder brukes kan eksponeringstiden reduseres ytterligere. Dette gjør at pumpehastighet kan øke som gjør hver videofilmning og videoanalyse kortere. Antall bilder en lakselus går inn og ut av bildet vil derimot synke. For å motarbeide dette burde bilder i sekundet (frames per second) økes i samsvar med pumpehastighet. For sterk belysning fra undersiden kan lage skygger eller fjerne nøkkelindikatorer for gjenkjenning av nauplius og kopepoditter om farger blir utvasket. Mer utprøving av ulike lyskilder, eksponeringstid og bilder i sekundet burde bli sett nærmere på for å finne den optimale hastigheten som ikke fjerner disse nøkkelindikatorene (Schram, 2004).

10% konfidens viste at tusenvis av bobler ble gjenkjent med høyere konfidens enn faktiske luselarver (Tabell 3), hvor 2 av luselarvene ble funnet med 15/16% og 18%. Registering av uvanlige objekt som øker antall falske positiver er ikke uvanlig for CNN baserte modeller som er trent på små datasett. I respons til dette har en studie trent en modell for funn og klassifisering av uvanlige forekomster som bobler i prøver, for å forbedre treffsikkerheten (Pu et al., 2021). Resultatene ble sammenlignet med andre modeller ved bruk av samme datasett og viste at treffsikkerheten ble betydelig bedre. Om YOLO-modellen kunne blitt trent til å vite hva bobler er hadde det vært mulig å filtrere disse vekk fra antall falske positiver. Dette gjelder også andre unormale falske positiver som kan dele lignende trekk til nauplier eller kopepoditter. Tiltak som reduserer antall falske positiver og samtidig kan forbedre treffsikkerheten er oppnåelig med større mengde data på luselarver som trener modellen (Tidemann, 2023a).

Videre prøver burde bli analysert med ulike konfidens terskler for å finne ut hvilken konfidens score som gir best forhold til ekte positiver delt på antall falske positiver. Beste treffsikkerhet vil alltid være med lavest mulig konfidens, men dette kan virke misvisende om ethvert objekt blir gjenkjent som luselarve. Fortsatt fant YOLO-modellen en gjennomiktig nauplie som ble oversett i en manuell kontrolltelling. For sjelden plankton hvor store prøver er nødvendig for å kartlegge forekomst, er manuell telling sett på som altfor tidskrevende (Bui et al., 2021; Buskey & Hyatt, 2006). Ofte kan mange timer føre til operatørtretthet, hvor presisjon i den manuelle tellingen blir dårligere over tid. Dette kan stemme godt med manuell telling, ettersom nauplien dukket opp 4 timer inn i tellingen. Desto viktigere blir det å teste ulike konfidens intervaller under ulike forhold. Tilsatte prøver med lakseluslarver hvor dårlig sikt med planktonrester og bobler blir lagt til gjør det mulig å teste

prosentvis treffsikkerhet med ulik konfidens. Det kan bli viktig for å videreutvikle modellen fremover. Gode videofilmer er en forutsetning for at videoanalysen og videreutvikling av modellen kan fungere som tiltenkt. Konfidens og andre innstillinger kan endres på i etterkant, mens filmer av feltprøver har kort tid på å kunne utnytte fordelene av ferske planktonprøver og er derfor ekstra viktig å gjøre skikkelig første gangen.

## 4.2 Luselarvetetthet

Det er beregnet at 240m<sup>3</sup> sjøvann ble filtrert den 4. april. Siden beregningen er basert på optimal filtrering, er det stor sannsynlighet for at faktisk filtrert sjøvann er betydelig mindre. I følge et eksperiment som så nærmere på hydrodynamikken til håv er 70% av beregnet filtrering et bedre estimat på reell filtrering (Motoda et al., 1957). I dette tilfellet gir det 240m<sup>3</sup> x 0.7 = 168m<sup>3</sup> faktisk filtrert sjøvann fra 4 ulike lokasjoner. 168m<sup>3</sup> delt på 4 nauplier gir 1 nauplie per 42m<sup>3</sup> sjøvann eller 0.024 nauplier/m<sup>3</sup>. Dette var et overraskende lavt funn. Til sammenligning fant Nelson et al., (2018) 0.65 larver/m<sup>3</sup> – 27 ganger flere luselarver (Nelson et al., 2018). Disse tallene er ikke fullstendig sammenlignbare når ulike faktorer trekkes inn. Ca. 84m<sup>3</sup> er sjøvann filtrert med anlegget. Resten av de filtrerte prøvene kommer fra vestpunktet og østpunktet. Flere studier peker mot en sterk fortykning av nauplier lenger unna oppdrettsanlegg (Johnsen IA et al., 2016; Nelson et al., 2018; Penston et al., 2008). En annen bachelor gruppe som ville teste blåskjell filtrering av luselarver fant heller ingen luselarver lenger unna lakseanlegget ved Gudmundset (Bordvik et al., 2024). Disse studentene filtrerte totalt 315m<sup>3</sup> sjøvann 170 meter unna anlegget, som er betydelig nærmere enn vest- og østpunktet (henholdsvis 2000 og 530 meter unna) hvor det heller ikke ble påvist lakseluselarver.

Andre faktorer som kan spille inn på luselarvetetthet er hvor mest luselarver pleier å oppholde seg. I denne studien ble vertikale trekk med håv valgt for å kunne finne tetthet i en spesifikk vannsøyle. Funn ved disse vertikaltrekkene forteller bare at naupliene ble fanget mellom 0-20 meter. Det finnes få forskningsartikler som har funnet lakseluselarver dypere enn 10 meter. Ofte brukes horisontale håvtrekk fra 0-6 meter hvor de fleste luselarver forventes å bli funnet (á Norði G et al., 2016; Frenzl, 2015). Bachelor gruppen som jobbet parallelt med meg så på vertikalfordeling av lakseluselarver under 24 timers feltforsøket (Mostad et al., 2024). Disse tre studentene satte ut tre ulike pumper som pumpet sjøvann fra ulike dyp på merdkanten til GU21. Den fjerde pumpet på innsiden av merden. Ingen nauplier ble funnet på 20 meters dyp, og bare 6 av 52 nauplier ble funnet på 10 meter dyp (Mostad et al., 2024). Dette kan indikere at der er svært få luselarver mellom 10-20 meter. Følgelig kan det bety at halvparten av alt som er filtrert med vertikale håvtrekk i min studie hadde lav sannsynlighet for å inneholde noen luselarver. Dette kan støttes av at både nauplier og kopepoditter viser positiv fototaktisk atferd i flere forsøk hvor de viser vertikalvandring opp til overflaten (Hagemann et al., 2024; Heuch et al., 1995; Szetey A et al., 2021).



Tid på året kan også spille inn på luselarvetetthet. Feltforsøkene ble gjennomført i vinterhalvåret hvor det er minimalt med plankton. Vinterhalvåret innebærer lave temperaturer, noe som gjør at det tar lengre tid mellom lakselusens utviklingsstadier (Hamre LA et al., 2019). Ved bruk av lakseluskartet er det mulig å se på hvordan de ulike årstidene drastisk endrer forekomst av frittflytende luselarver (Havforskningsinstituttet, 2024). Samme periode i fjor estimerte rundt 0.400 kopepoditter/m<sup>2</sup> nedstrøms fra anlegget, mens månedene etter sommeren viste fra 9-19 kopepoditter /m<sup>2</sup> (Havforskningsinstituttet, 2024). Det vil si om samme volum av sjøvann hadde blitt filtrert senere i år kunne man forventet å finne 20-40 ganger flere nauplier. Selv med lavere sannsynlighet ble det funnet flere nauplier fra samme prøve (Tabell 4). Datainnsamling ble utført under avlusing ved anlegget, hvor GU23 opplevde trenging under sampling. Dette var også merden hvor 3 av 4 nauplier ble påvist. En studie fra Færøyene rapporterte ordinære tettheter på 0,02 kopepoditter/m<sup>3</sup> nedstrøms fra et standard akvakulturanlegg. I motsetning til dette, viste et annet anlegg som gjennomgikk avlusing en tetthet på 0,6 kopepoditter/m<sup>3</sup>, noe som representerer en 30-ganger økning sammenlignet med normale forhold (á Norði G et al., 2015). Selv om kopepoditter og nauplier er forskjellige utviklingsstadier, tyder disse funnene på at tilstedeværelsen av luselarver kan forhøyes drastisk ved håndtering av fisk.

### **4.3 Sammenligning med spredningsmodellen (lakseluskartet)**

Nærmeste registrerte dato for lakseluslarver (kopepoditter) på lakseluskartet i henhold til det andre feltforsøket er lørdag den 6. april. Den 06.04 er det antatt 0,315 kopepoditter/m<sup>2</sup> med anlegget, 0,240 kopepoditter/m<sup>2</sup> nært østpunktet, og 0,400 kopepoditter/m<sup>2</sup> nært vestpunktet. Ingen kopepoditter ble registrert av YOLO-modellen. I stedet ble nauplier brukt som var funnet ved anlegget som sammenligning. Høyest registrerte antall nauplier/m<sup>2</sup> var 0.66 i GU23 prøve 1 (Tabell 4). Nelson et al., (2018) fant et forhold nauplier til kopepoditter på 13.6:1 ved anlegg i studien (Nelson et al., 2018). Siden havbunntopografi og strømretning skiller seg betydelig fra den canadiske studien er det grunn til å tro at forholdet er nærmere 10:1 ved lokaliteten Gudmundset (Tuene, S. A., personlig kommunikasjon, 16.05.2024). Det vil si at denne prøven gir 0.066 kopepoditter/m<sup>2</sup> – fem ganger lavere konsentrasjon enn estimert fra spredningsmodellen. Mostad et al., (2024) fant derimot over 10 ganger flere nauplier fra samme lokasjon og kan derfor være mer interessant å sammenligne. Hver av studentgruppens 28 prøver bestod av 27m<sup>3</sup> sjøvann (Mostad et al., 2024). Prøvene i min studie er beregnet til 20m<sup>3</sup> sjøvann, noe som gjør gruppens antall nauplier (52) delt på antall prøver (28) mulig å sammenligne. Det gir 1.86 nauplier/m<sup>2</sup> eller 0.186 kopepoditter/m<sup>2</sup>. Gruppens innhenting av data skjedde under første feltforsøk hvor det var forventet lavere kopepodittestimater og kan derfor virke som et bedre treff i forhold til egne tall opp mot spredningsmodellen (Mostad et al., 2024).



HI sier selv at feltarbeid alene for å få oversikt over lakseluspresset er en umulig oppgave (Havforskningsinstituttet, 2020). Et fremtidig mål for HI er å kunne redusere fysiske undersøkelser av villaks – den avgjørende faktoren for bestemmelse av trafikklyssystemet (Havforskningsinstituttet, 2023). Problemet er manglende dokumentasjon på forholdet mellom lakselus-spredning fra oppdrettslaks og lusepåslag av villaksen. Det blir derfor særdeles viktig å kunne validere denne modellen og dokumentere hvor mye lakseluslarver det finnes i de frie vannmassene. Om spredningsmodellen styrkes betraktelig, kan dette føre til endringer rundt reguleringer av villaksen som eneste avgjørende faktor for trafikklyssystemet (Olaussen, 2018). I stedet for å rød-legge et helt produksjonsområde, åpner også en styrket modell opp for dynamisk regulering etter hvordan lakselusen sprer seg til villaks via spesifikke oppdrettsanlegg. Disse anleggene kan bli sanksjonert deretter.

En måte å styrke spredningsmodellen på er å inkludere omfang av nauplier. Siden modellen modellerer spredning med utgangspunkt i nauplier, kan mer synliggjøring av data være med på å vise hvor eventuelle svakheter med modellen ligger så tilstrekkelig feltforsøk kan teste antagelsene. Alle planktoniske larvestadier tar del i denne modellen, noe som gjør at alle blir viktige å undersøke i fremtiden. I enkelte forsøk er det registrert høye antall av nauplier eller kopepoditter i tilfeldige feltprøver som viser en ujevn fordeling av luselarvetetthet. Dette er noe lakseluskartet ikke klarer å modellere. Nelson et al., (2018) fant 255 kopepoditter i en prøve mens arbeidsbåten fulgte strømmen, hvor påfølgende prøver fra samme område inneholdt 0 luselarver (Nelson et al., 2018). En årsak kan være at kopepodittene ble samlet i store luftlommer som kommer fra dragkraften til merdene (Klebert et al., 2013). En annen kan være at undersjøiske strømmer kan frakte flere luselarver samlet over lengre avstander (Stigebrandt, 2012). Dette er umulig å bekrefte, noe som gjør kontinuerlig filtrering av sjøvann viktig for å kartlegge dette og lignende hendelser som har vist store variasjoner i forekomst av luselarver (Asplin et al., 2014; Johnsen IA et al., 2016; Penston et al., 2008).

## 5.0 Konklusjon

Denne studien demonstrerte at kunstig intelligens kan brukes for å gjenkjenne flere nauplier i store feltprøver sammenlignet med manuell kontroll av samme innhold. YOLO-modellen fant derimot ikke noen kopepoditter, som gjorde en direkte sammenligning med lakseluskartetet umulig. Disse resultatene overrasket og reiste spørsmål rundt modellens treffsikkerhet da antall falske positive ble sammenlignet. Samtidig viste studien hvor viktig det var å teste en slik modell under utfordrende forhold for å finne svakheter. Nok innhenting av filtrerte feltprøver og gode videofilmer var en forutsetning for at resten av videosystemet skulle fungere som tiltenkt når man håndterer ferske planktonprøver. Den beste videokvaliteten kom fra de ferskeste prøvene. Videre forskning burde se på flere løsninger for å kunne analysere mest mulig ferske planktonprøver. Forslag til enkelte forbedringer ble diskutert. Et fungerende og effektivt videosystem kan bli viktig for å styrke lakseluskartetet med manglende data på frittflytende lakseluslarver.

## Referanser

- á Norði G, Simonsen K, Danielsen E, Eliassen K, Mols-Mortensen A, Christiansen DH, Steingrund P, Galbraith M, & Patursson Ø. (2015). Abundance and distribution of planktonic *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus* in a fish farming region in the Faroe Islands. *Aquaculture Environment Interactions*, 7(1), 15–27.
- 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. <https://doi.org/10.1086/691981>
- Asplin, L., Johnsen, I. A., Sandvik, A. D., Albretsen, J., Sundfjord, V., Aure, J., & Boxaspen, K. K. (2014). Dispersion of salmon lice in the Hardangerfjord. *Marine Biology Research*, 10(3), 216–225. <https://doi.org/10.1080/17451000.2013.810755>
- Barentswatch. (2024). *Fiskehelse*. <https://www.barentswatch.no/fiskehelse/locality/12265/2024/14>
- 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>
- Basler. (2024). *pylon Viewer—Pylon Software Suite*. <https://www.baslerweb.com/en/software/pylon/pylon-viewer/>
- Borchel, A., Komisarczuk, A. Z., & Nilsen, F. (2022). Sex differences in the early life stages of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). *PLoS ONE*, 17(3), e0266022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266022>
- Bordvik, S., Hoem, A., & Hommel, S. (2024). *Tilstedeværelse av Mytilus Edilus for bekjempelsen av Lepeophtherius salmonis i en oppdrettsmerd*. Upublisert data.
- Bui, S., Dalvin, S., Vågseth, T., Oppedal, F., Fossøy, F., Brandsegg, H., Jacobsen, Á., á Norði, G., Fordyce, M. J., Michelsen, H. K., Finstad, B., & Skern-Mauritzen, R.

- (2021). Finding the needle in the haystack: Comparison of methods for salmon louse enumeration in plankton samples. *Aquaculture Research*, 52(8), 3591–3604.  
<https://doi.org/10.1111/are.15202>
- Buskey, E. J., & Hyatt, C. J. (2006). Use of the FlowCAM for semi-automated recognition and enumeration of red tide cells (*Karenia brevis*) in natural plankton samples. *Harmful Algae*, 5(6), 685–692. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2006.02.003>
- Cheng, K., Cheng, X., Wang, Y., Bi, H., & Benfield, M. C. (2019). Enhanced convolutional neural network for plankton identification and enumeration. *PLOS ONE*, 14(7), e0219570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219570>
- Crosbie T, Wright DW, Oppedal F, Dalvin S, Myksvoll MS, & Dempster T. (2020). Impact of thermoclines on the vertical distribution of salmon lice larvae. *Aquaculture Environment Interactions*, 12, 1–10.
- Crosbie T, Wright DW, Oppedal F, Johnsen IA, Samsing F, & Dempster T. (2019). Effects of step salinity gradients on salmon lice larvae behaviour and dispersal. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 181–190.
- Dalvin, S., & Oppedal, F. (2019). Utvikling av lakselus ved ulik temperatur og lys—TEMPLUS. 21. <https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/handle/11250/2600148>
- Dempster T, Overton K, Bui S, Stien LH, Oppedal F, Karlsen Ø, Coates A, Phillips BL, & Barrett LT. (2021). Farmed salmonids drive the abundance, ecology and evolution of parasitic salmon lice in Norway. *Aquaculture Environment Interactions*, 13, 237–248.
- Dhargalkar, V. K., & Verlecar, X. N. (2004). *Zooplankton Methodology, Collection & Identification —A field manual*. National Institute of Oceanography Dona Paula, Goa - 403 004.  
[https://drs.nio.res.in/drs/bitstream/handle/2264/95/Zooplankton\\_Manual.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://drs.nio.res.in/drs/bitstream/handle/2264/95/Zooplankton_Manual.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Eide, A. (2021, desember 22). *Lakselusa koster oppdrettsnæringen i Norge 167 milliarder kroner\* i 2021*. IntraFish.No | De Siste Nyhetene Om Oppdrettsnæringen.

<https://www.intrafish.no/kommentarer/lakselusa-koster-oppdrettsnaringen-i-norge-167-milliarder-kroner-i-2021/2-1-1133582>

Fagerbakke, C. (2020a, februar 4). *Slik overvåker vi villaksen*. Havforskningsinstituttet.

<https://www.hi.no/hi/nyheter/2020/februar/slik-overvaker-vi-villaksen>

Fagerbakke, C. (2020b, februar 6). *Dette er trafikklyssystemet*. Havforskningsinstituttet.

<https://www.hi.no/hi/nyheter/2020/februar/trafikklys>

Fanghol, T. A. (2021, februar 12). *Fiskeoppdrettere saksøker staten for feil i forskning*.

<https://www.khrono.no/fiskeoppdrettere-saksoker-staten-for-feil-i-forskning/554182>

Fernandez-Gonzalez, V., Ulvan, E. M., Sanchez-Jerez, P., Diserud, O. H., Toledo-Guedes, K., Casado-Coy, N., Klebert, P., & Uglem, I. (2022). Abundance of sea lice larvae in plankton samples: Determination of optimal sample sizes. *Aquaculture*, 551, 737919.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737919>

Fiskeridirektoratet. (2024). *Hva er trafikklyssystemet?* Fiskeridirektoratet.

<https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/hva-er-trafikklyssystemet>

Frenzl, B. (2015). *Understanding key factors associated with the infection of farmed Atlantic salmon by the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis**.

<http://dspace.stir.ac.uk/handle/1893/22320>

González, P., Castaño, A., Peacock, E. E., Díez, J., Del Coz, J. J., & Sosik, H. M. (2019).

Automatic plankton quantification using deep features. *Journal of Plankton Research*, 41(4), 449–463. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbz023>

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*. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01519-y>

Hamre, L. A., Eichner, C., Caipang, C. M. A., Dalvin, S. T., Bron, J. E., Nilsen, F., Boxshall, G., & 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., Glover, K. A., & Nilsen, F. (2009). Establishment and characterisation of salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer 1837)) laboratory strains. *Parasitology International*, 58(4), 451–460.  
<https://doi.org/10.1016/j.parint.2009.08.009>
- Hamre LA, Bui S, Oppedal F, Skern-Mauritzen R, & Dalvin S. (2019). Development of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* parasitic stages in temperatures ranging from 3 to 24°C. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 429–443.
- Havforskningsinstituttet. (2019a, mai 27). *Beregning av smittepress*. Havforskningsinstituttet.  
<https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus/beregning-av-smittepress>
- Havforskningsinstituttet. (2019b, oktober 31). *Effekter av lakselus på vill laksefisk*.  
Havforskningsinstituttet. <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus/effekter-av-lakselus-pa-vill-laksefisk>
- Havforskningsinstituttet. (2020, juli 22). *Slik vet vi hvor det er lakselus*.  
Havforskningsinstituttet. <https://www.hi.no/hi/nyheter/2020/februar/slik-vet-vi-hvor-det-er-lakselus>
- Havforskningsinstituttet. (2023, november 27). *Trafikklyssystemet – HI sin kunnskap*.  
Havforskningsinstituttet. <https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/trafikklyssystemet-hi-sin-kunnskap>
- Havforskningsinstituttet. (2024, mai 11). *Lakseluskartet*. <https://www.hi.no/forskning/marine-data-forskningsdata/lakseluskart/html/lakseluskart.html>
- Hersoug, B., Mikkelsen, E., & Osmundsen, T. C. (2021). What's the clue; better planning, new technology or just more money? - The area challenge in Norwegian salmon farming. *Ocean & Coastal Management*, 199, 105415.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105415>
- Heuch, P. A., Parsons, A., & Boxaspen, K. (1995). Diel vertical migration: A possible host-finding mechanism in salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) copepodids? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(4), 681–689.  
<https://doi.org/10.1139/f95-069>

- Jensen, S. M. S., Loen, V. N., & Vevelstad, A. (2021). *Utvikling av en effektiv metode for registrering av lakseluslarver i ferske planktonprøver*. [Bachelor thesis, NTNU].  
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2783530>
- Johnsen IA, Asplin LC, Sandvik AD, & Serra-Llinares RM. (2016). Salmon lice dispersion in a northern Norwegian fjord system and the impact of vertical movements.  
*Aquaculture Environment Interactions*, 8, 99–116.
- Kang, C. H., & Kim, S. Y. (2023). Real-time object detection and segmentation technology: An analysis of the YOLO algorithm. *JMST Advances*, 5(2), 69–76.  
<https://doi.org/10.1007/s42791-023-00049-7>
- Karlsen, Ø., Serra Llinares, R. M., Nilsen, R., Harvey, A. C., & Wennevik, V. (2023). En vurdering av lakselusinfestasjonen i produksjonsområdene 2023-Sluttrapport til Mattilsynet fra den nasjonale overvåkingen av lakselus på vill laksefisk (NALO). *Rapport fra havforskningen*. <https://www.hi.no/hi/nettrapper/rapport-fra-havforskningen-2023-58>
- Klebert, P., Lader, P., Gansel, L., & Oppedal, F. (2013). Hydrodynamic interactions on net panel and aquaculture fish cages: A review. *Ocean Engineering*, 58, 260–274.  
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.11.006>
- Knudsen, C. (2023, februar 7). *58 millioner laks døde i norske oppdrettsanlegg i 2022*. E24.  
<https://e24.no/i/4omy9G>
- Knudsen, C. (2024, april 9). *Lakseoppdrettere vil ta produksjonskutt til retten på nytt*.  
<https://e24.no/i/769vbW>
- Langvatn, V. A., & Larsen, S. V. (2012). *MOM C undersøkelse (NS 9410); Gudmundset*. Fiske-Liv AS. <https://api.fiskeridir.no/aqua-env-reports-ws/api/v1/env-reports/AR110006548/attachments/15690>
- Lloret, L., Heredia, I., Aguilar, F., Debusschere, E., Deneudt, K., & Hernandez, F. (2018). Convolutional Neural Networks for Phytoplankton identification and classification. *Biodiversity Information Science and Standards*, 2, e25762.  
<https://doi.org/10.3897/biss.2.25762>

- Misund, B. (2023). *Kostnadsutvikling i oppdrett av laks og ørret: Hva koster biologisk risiko?*
- Mostad, S., Paulsen, S., & Pedersen, K. (2024). *Undersøkelse av den vertikale distribusjonen hos nauplii (Lepeophtheirus salmonis) ved hjelp av kunstig intelligens: En casestudie*. Upublisert data.
- Motoda, S., Anraku, M., & Minoda, T. (1957). EXPERIMENTS ON THE PERFORMANCE OF PLANKTON SAMPLINGS WITH NET. *Hokkaido University*.  
[https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/22979/1/8%281%29\\_P1-22.pdf](https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/22979/1/8%281%29_P1-22.pdf)
- Nelson, E. J., Robinson, S. M. C., 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. <https://doi.org/10.1111/jfd.12692>
- Nolan, D. T., Reilly, P., & Bonga, S. W. (1999). Infection with low numbers of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* induces stress-related effects in postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(6), 947–959. <https://doi.org/10.1139/f99-021>
- Olaussen, J. O. (2018). Environmental problems and regulation in the aquaculture industry. Insights from Norway. *Marine Policy*, 98, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.005>
- 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>
- Penston, M. J., Millar, C. P., Zuur, A., & Davies, I. M. (2008). Spatial and temporal distribution of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) larvae in a sea loch containing Atlantic salmon, *Salmo salar* L., farms on the north-west coast of Scotland. *Journal of Fish Diseases*, 31(5), 361–371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2008.00915.x>



- Pike, A. W., & Wadsworth, S. L. (1999). Sealice on Salmonids: Their Biology and Control. I J. R. Baker, R. Muller, & D. Rollinson (Red.), *Advances in Parasitology* (Bd. 44, s. 233–337). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(08\)60233-X](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(08)60233-X)
- Pu, Y., Feng, Z., Wang, Z., Yang, Z., & Li, J. (2021). *Anomaly Detection for In Situ Marine Plankton Images*. 3661–3671. [https://openaccess.thecvf.com/content/ICCV2021W/OceanVision/html/Pu\\_Anomaly\\_Detection\\_for\\_In\\_Situ\\_Marine\\_Plankton\\_Images\\_ICCVW\\_2021\\_paper.html](https://openaccess.thecvf.com/content/ICCV2021W/OceanVision/html/Pu_Anomaly_Detection_for_In_Situ_Marine_Plankton_Images_ICCVW_2021_paper.html)
- R. Chauhan, K. K. Ghanshala, & R. C. Joshi. (2018). Convolutional Neural Network (CNN) for Image Detection and Recognition. *2018 First International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC)*, 278–282. <https://doi.org/10.1109/ICSCCC.2018.8703316>
- 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. Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/S0025315404008963h>
- Sieracki, C. K., Sieracki, M. E., & Yentsch, C. S. (1998). An imaging-in-flow system for automated analysis of marine microplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 168, 285–296.
- Sievers M, Korsøen Ø, Dempster T, Fjellidal PG, Kristiansen T, Folkedal O, & Oppedal F. (2018). Growth and welfare of submerged Atlantic salmon under continuous lighting. *Aquaculture Environment Interactions*, 10, 501–510.
- 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. <https://doi.org/10.3354/aei00342>
- Stigebrandt, A. (2012). Hydrodynamics and Circulation of Fjords. I L. Bengtsson, R. W. Herschy, & R. W. Fairbridge (Red.), *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs* (s. 327–344). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6\\_247](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_247)

- Szetey A, Wright DW, Oppedal F, & Dempster T. (2021). Salmon lice nauplii and copepodids display different vertical migration patterns in response to light. *Aquaculture Environment Interactions*, 13, 121–131.
- Tidemann, A. (2023a). Dyplæring. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/dypl%C3%A6ring>
- Tidemann, A. (2023b). Kunstig intelligens. I *Store norske leksikon*.  
[https://snl.no/kunstig\\_intelligens](https://snl.no/kunstig_intelligens)
- Tilseth, S., Hansen, T., & Møller, D. (1991). Historical development of salmon culture. *Interactions between Cultured and Wild Atlantic Salmon*, 98(1), 1–9.  
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90367-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90367-G)
- 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.  
<https://doi.org/10.1111/jfd.12061>
- Uglem, I., Fernandez, V., & Sanchez-Jerez, P. (2018). *Lusetelling i vann og på laks*.  
<https://www.fhf.no/media/1264/18-ingebrigt-uglem-nina-lusetelling-i-vann-og-paa-laks-v2.pdf>
- VI, P. A. H. (2009). Lakselus på villfisk. *Naturen*, 133(4), 188–192.  
<https://doi.org/10.18261/ISSN1504-3118-2009-04-03>
- Vollset, K. W., Nilsen, F., Ellingsen, I., Karlsen, Ø., Paterson, R. A., Qviller, L., Skardhamar, J., & Stige, L. C. (2023). *Produksjonsområdebasert vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet i 2023*. 181.
- Zhang, C. (2024). *Automatic detection of salmon lice in seawater*. Manuskript. Submitted.

