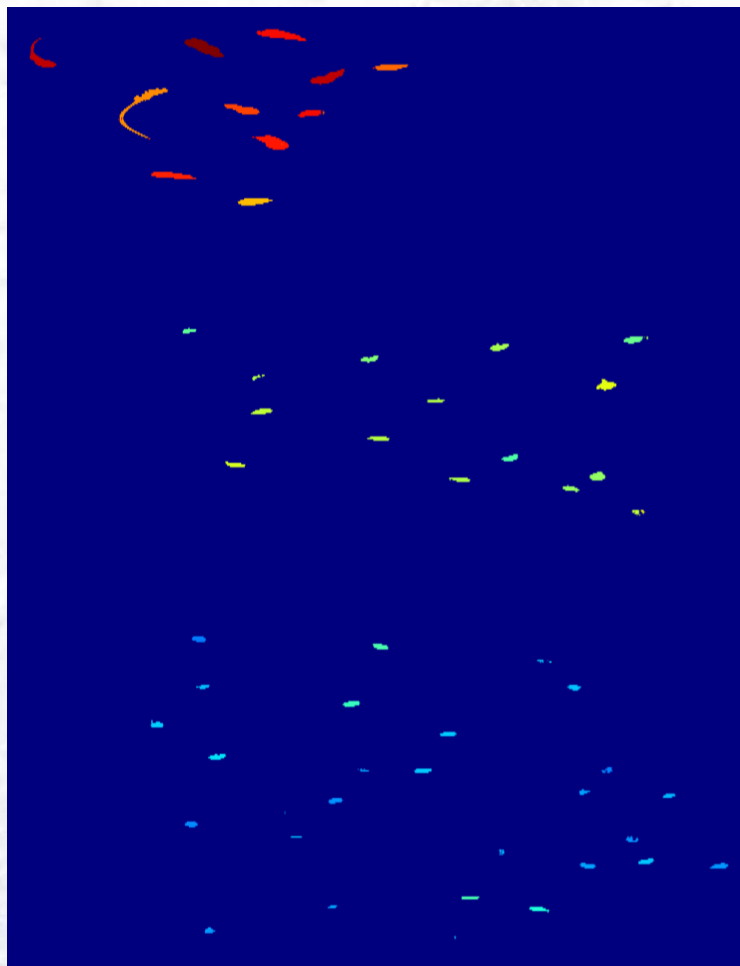


## Klassifisering og telling av lakselus



**This page is intentionally left blank**

**Akvaplan-niva AS**

Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur

Org.nr: NO 937 375 158 MVA

Pirsenteret

7462 Trondheim

Tlf: +47 77 75 03 00

www.akvaplan.niva.no/trondheim



<b>Rapporttittel / Report title</b> Klassifisering og telling av lakselus	
<b>Forfatter(e) / Author(s)</b> Kristin Sæther, Akvaplan-niva as Aoife Westgård, Aqua Kompetanse as Jørgen Tegdan, Ecotone as Lars Martin Sandvik Aas, Ecotone as	<b>Akvaplan-niva rapport nr / report no</b> 7415
	<b>Dato / Date</b> 01.11.2015
	<b>Antall sider / No. of pages</b> 36
	<b>Distribusjon / Distribution</b> Offentlig
<b>Oppdragsgiver / Client</b> Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond, FHF	<b>Oppdragsg. referanse / Client's reference</b> Prosjektnr. 901093
<b>Sammendrag / Summary</b> Med bruk av UHI-kamera kan man detektere lakselus på svømmende laks. Dette gjelder både kjønnsmodne lus, bevegelige lus og en del store fastsittende lus. Det har ikke vært mulig å skille de forskjellige stadier av lus på fritt svømmende laks med det utstyret som er brukt til nå, men det er potensiale for å få til dette med bedre opptaksutstyr. Dette vil kreve videre utvikling av optikk og programvare. For optimal klassifisering av lakselus med UHI vil det være hensiktsmessig å bruke LED-lys. Det er lettere å detektere lus som sitter på de lyse områdene av laksen. Dagens teknologi forutsetter avstander mindre enn 0,5 m mellom laks og kamera.	
<b>Prosjektleder / Project manager</b>  _____  Kristin Sæther	





# INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG .....	3
1 INNLEDNING .....	4
1.1 Bakgrunn .....	4
1.2 Prosjektets omfang .....	5
1.3 Prosjektorganisering .....	5
1.3.1 Prosjektgruppe .....	5
1.3.2 Styringsgruppe .....	5
2 PROBLEMSTILLING OG FORMÅL .....	6
2.1 Resultatmål .....	6
2.1.1 Verifisere den spektrale signaturen til lakselus i ulike stadier .....	6
2.1.2 Verifisere at signaturen til lakselus kan skilles fra laks .....	6
2.1.3 Verifisere at korrekt antall og stadier av lus kan identifiseres på levende laks .....	7
3 UNDERVANNS HYPERSPEKTRAL AVBILDER (UHI) .....	8
3.1 Databehandling og analysemetoder .....	8
4 PROSJEKTGJENNOMFØRING .....	9
4.1 Målinger i laboratorium .....	9
4.1.1 Innsamling av lakselus .....	9
4.1.2 Forsendelse .....	9
4.1.3 Målinger .....	10
4.2 Feltforsøk slakteri .....	13
5 OPPNÅDDE RESULTATER .....	15
5.1 Spekteret til lus i ulike stadier .....	15
5.2 Avbildning av lus på død laks i luft .....	17
5.3 Avbildning av lus på død laks i vann .....	21
5.4 Klassifisering av lus på levende laks .....	22
5.5 Tekniske vurderinger .....	26
5.5.1 Automatisk identifisering med UHI .....	26
5.5.2 Lyskilder, avstand og optikk .....	26
6 NYTTEVURDERINGER OG ANVENDELSESPOTENSIALE .....	28
6.1 Automatisk identifisering med UHI .....	28
6.2 Lyskilder, avstand og optikk .....	28
6.3 Andre arter .....	29
6.4 Utfordringer ved bruk av UHI .....	29
6.5 Konklusjoner og anbefaling av videre arbeid .....	30
7 LEVERANSER .....	31
8 LITTERATUR .....	32

# Forord

---

FHF-prosjekt 901093 Klassifisering og telling av lakselus er resultat av etablert kontakt mellom Akvaplan-niva, Ecotone og Aqua Kompetanse. I forbindelse med åpning av Akvaplan-nivas Trondheimskontor kom representanter fra de tre selskapene i prat om egne kompetanseområder. Dette la grunnlaget for ideen om å bruke UHI-teknologi, som i utgangspunktet anvendes av oljeindustrien for miljøundersøkelser og kartlegging av havbunnen, til å telle lakselus i oppdrett.

Prosjektet har vært mulig å gjennomføre på grunn av finansiering fra Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond, FHF. Prosjektgruppen vil rette en stor takk til FHF og kontaktperson Kjell Maroni for god støtte og veiledning underveis i prosjektet.

FHF har utnevnt en styringsgruppe for prosjektet bestående av:

- Marit Stormoen, Marine Harvest
- Arne Guttvik, Salmar
- Kristen Høyforslett, Oppdretternes Miljøservice
- Ivar Erdal, Ecotone

FHF har deltatt i styringsgruppemøtene med en representant, Kjell Maroni.

Prosjektgruppen vil rette en stor takk for nyttige innspill og kommentarer fra styringsgruppen underveis i prosjektet.

# Sammendrag

---

Prosjektet er forankret i FHF's handlingsplan for 2015: Havbruk – Bærekraftig produksjon. Her er prioriteringer for 2015 bl.a. «Telling av lakselus – bedre metodikk inkludert automatisk telling på levende laks i anlegg».

Lakselus er en stor utfordring i dagens oppdrett av laks. For å håndtere denne utfordringen på en optimal måte er det viktig å ha best mulig kunnskap om den faktiske lusesituasjonen i oppdrett. Telling av lakselus er krevende, og resultat av telling avhenger av både kunnskap og erfaring.

Til bruk i bl.a. petroleumssektoren er det utviklet en Undervanns Hyperspektral Avbilder (UHI) som automatisk detekterer ulike levende organismer basert på lyset de reflekterer. Formålet med det foreliggende prosjektet har vært å gjennomføre en forstudie for å avdekke om UHI-teknologien også kan benyttes til automatisk telling av lakselus i oppdrett.

Undersøkelsen i forstudiet er gjennomført i tre arbeidspakker. I de to første arbeidspakkene ble lus innsamlet og identifisert av fiskehelsepersonell før lab-forsøk med UHI. Arbeidspakke 3 ble gjennomført med feltforsøk ved ventemerdanlegg til et slakteri, med både fiskehelsepersonell og personell med UHI-kompetanse tilstede. Rådataene som tas opp med UHI går gjennom flere prosesseringstrinn for å gi ønsket resultat. Etter pre-prosessering av data starter analysen som gjenkjenner signaturer og skiller ulike objekter fra hverandre. I prosjektet har man benyttet metodene Spectral Angle Mapper (SAM), K-means og Partial Least Squares (PLS).

Forstudien har vist at UHI kan benyttes til å detektere lakselus. Det er avdekket at lakselusa sin spektrale signatur endres med størrelse, og UHI kan skille mellom ulike stadier ved avbildning i luft. Forsøk viser at UHI også kan detektere lakselus på frittsvømmende laks i kar. Teknologien har imidlertid ikke klart å skille de ulike stadiene av lakselus på frittsvømmende laks. Med bakgrunn i at UHI har klart å skille ulike stadier av lus i luft og på død laks, kan trolig forbedringer av teknologi og opptaksmetodikk gjøre det mulig å skille ulike stadier av lakselus også på frittsvømmende laks.

UHI ser lettere lakselus på de lyse feltene av laksen enn på de mørkere feltene. Dette gjelder spesielt for de minste stadiene av lus. Det er ikke konkludert med hvor stor andel av det totale lusetallet på en laks UHI kan detektere. Det anbefales at et videre arbeid adresserer forskjell i nøyaktighet og nytte ved ulike plasseringer av kamera, i.e. om kamera filmer laks nedenfra, fra siden eller ovenfra.

Det konkluderes med at UHI kan benyttes til å registrere trender i lusepåslag. Det antas at det kan bli vanskelig å telle eksakte lusetall ved hjelp av UHI. Det må arbeides videre med utvikling av teknologi for bedring av utstyret for en mest mulig nøyaktig registrering. Inkludert i dette må det tas sikte på å kunne skille ulike lusestadier fra hverandre. Det må etableres større kunnskap om sammenheng mellom resultater fra bruk av UHI og resultater fra telling av lus av kompetent personell.

Prosjektet danner grunnlag for et videre utviklingsarbeid som kan lede fram til en praktisk anvendbar løsning for automatisk telling av lakselus.

# 1 Innledning

---

## 1.1 Bakgrunn

Lakselus er en stor utfordring i lakseoppdrett. Parasitten er en potensiell fare for både oppdrettsfiskens velferd og for ville bestander av laksefisk. Myndighetene stiller derfor krav om at smittepresset fra lakseoppdrett ikke kan overstige definerte nivå. Kravene er nedfelt i en egen forskrift (Luseforskriften, 2012).

Luseforskriften stiller krav om regelmessige tellinger av lakselus. Lakselusa har flere ulike utviklingsstadier, og spredning av parasitten skjer når lusa har blitt kjønnsmoden. Luseforskriftens krav omhandler derfor det gjennomsnittlige antall kjønnsmoden lakselus som maksimalt kan være i et anlegg pr fisk. For å forebygge utviklingen av kjønnsmoden lus stiller Luseforskriften også krav om telling av lus som er i de øvrige utviklingsstadier, slik at tiltak kan settes i verk før lusa blir kjønnsmoden.

Telling av lakselus er krevende, bl.a. pga. størrelsen på lusa i dens tidlige stadier. Nøyaktigheten i telling av lakselus avhenger både av kunnskap og erfaring. Lakselusa er bare omtrent 1 mm når den fester seg på laksen. Undersøkelser viser at det er stor variasjon mellom ulike røktere mht. kompetanse på lusetelling. Det hersker størst usikkerhet rundt telling av de minste lusestadiene, da disse kan være vanskelig å se. Samtidig er det av stor betydning for oppdretteren å telle disse riktig, for å kunne fange opp endringer i smittepress så tidlig som mulig, og dermed iverksette tiltak til optimalt tidspunkt. Næringen har et tydelig behov for økt kvalitet på telling av fastsittende lusestadier.

For å kunne telle lus må et representativt utvalg av oppdrettsfisk samles inn, bedøves og undersøkes for lus i luft. Dette kravet gjelder gjennom hele året, og innebærer en utfordring for fiskevelferden. Dette gjelder spesielt ved lave lufttemperaturer. I flere tilfeller er håndteringen en så stor påkjenning for laksen at man velger å avlive fisken framfor å sette den ut i merd igjen etter telling. For oppdretter medfører dette et tap.

Fordi nøyaktigheten avhenger av personen som er satt til å telle, og fordi konsekvensen av høye lusetall er store for oppdrettere, har enkelte kritikere til oppdrettsnæringen spekulert i om lusetallene som rapporteres til myndighetene er korrekte. For oppdrettere er telling av lakselus i tillegg ressurskrevende fordi den må gjennomføres manuelt.

Ecotone har utviklet en Undervanns Hyperspektral Avbilder (UHI), i første omgang for kartlegging av marine habitater. Denne teknologien har vært prøvd på flere feltundersøkelser i ulike norske farvann de siste par årene. Teknologien har vist seg å være i stand til å automatisk detektere ulike levende organismer basert på lyset de reflekterer. Avbilderen måler alle bølgelengder av synlig lys med høy presisjon, og den spektrale signaturen som måles kan brukes til å skille ulike objekter og levende arter fra hverandre. Teknologien har så langt vært benyttet på ulike bunndyr som koraller, svamp og anemoner, men den kan også benyttes på mange andre arter og objekter under vann.

Prosjektet har tatt utgangspunkt i potensialet ved å bruke UHI-teknologi også i oppdrettsnæringa i Norge, til automatisk klassifisering og telling av lakselus. Dette vil gi en betydelig forbedring for oppdretterne i arbeidet med bekjempelse av lakselus i lakseoppdrett.



## 1.2 Prosjektets omfang

Hensikten med forprosjektet har vært å gjennomføre en mulighetsstudie. Målsettingen var å validere, demonstrere og konkludere om UHI kan anvendes som en effektiv og automatisk metode for å identifisere, klassifisere og telle ulike stadier av lakselus på svømmende laks.

Overordnet mål er å utvikle en ny metode for telling av lakselus ved hjelp av ny teknologi. Dette kan bli en effektiv metode for å kartlegge luseangrep i oppdrett, og gi et objektivt og sikkert resultat som samtidig bedrer fiskevelferd i forbindelse med lusetelling.

Forprosjektet har vært bygget opp med mål og delmål.

## 1.3 Prosjektorganisering

### 1.3.1 Prosjektgruppe

Prosjektet har vært et samarbeid mellom Akvaplan-niva, Ecotone og Aqua Kompetanse.

Akvaplan-niva har ledet prosjektet. Akvaplan-niva har hatt ansvar for å evaluere data, og foreta en faglig vurdering av resultatene. Akvaplan-niva har for øvrig bidratt med oppfølging av måloppnåelse og leveranser, kommunikasjon med eksterne partnere, budsjettansvar og rapportering.

Ecotone har bidratt med utstyr og spesialkompetanse for hyperspektral avbildning. Ecotone har stått for gjennomføring av målinger samt tolkning av data. I tillegg har Ecotone vært ansvarlig for gjennomføring av forsøk, for presentasjon av data, for å utvikle tolkningsalgoritmer og for mekanisk rigg og elektronikk. Ecotone har også bidratt med evaluering data og rapportering.

Aqua Kompetanse har bidratt med kunnskap på lakselus og fiskehelse. Aqua Kompetanse har stått for sinking av lus og praktisk gjennomføring av forsøk. Videre har Aqua Kompetanse tolket data ut i fra et fiskehelse- og fiskevelferdsperspektiv. Aqua Kompetanse har også bidratt med tolking og vurdering av data og rapportering.

### 1.3.2 Styringsgruppe

Det ble opprettet en styringsgruppe for prosjektet bestående av representanter fra oppdrettsnæringa. I tillegg har en representant fra FHF deltatt i styringsgruppens møter.

Styringsgruppa har blitt jevnlig oppdatert om fremdrift i prosjektet. Styringsgruppa har vurdert grunnlaget for videre arbeid i prosjektet etter gjennomføring av hver enkelt arbeidspakke.

Styringsgruppa har hatt 4 møter i løpet av prosjektperioden. Prosjektleder har vært ansvarlig for kontakt mellom prosjektgruppe og styringsgruppe, samt har fungert som sekretær for styringsgruppa.

## 2 Problemstilling og formål

---

Det er et ønske at utvikling av Undervanns Hyperspektral Avbilder (UHI) for automatisk telling og klassifisering av lakselus vil identifisere også de fastsittende stadier av lakselus. Lakselusa er på dette stadiet svært liten og vanskelig å se. I tillegg har lakselusa en farge som gjør at den lett forveksles med normale fargeforskjeller på laksen. Ved manuell telling er det derfor lett å overse lakselus av de minste stadiene, og tellingen blir unøyaktig. Ved automatisk telling av disse stadiene vil oppdretter og forvaltning få en sikker telling på et tidligere stadium. Dette bedrer handlingsrommet for å sette inn tiltak for å fjerne lakselus før den blir kjønnsmoden og en smittefare for både annen oppdrettslaks og villaks.

Ved bruk av UHI kan lakselus telles uten at laksen påvirkes. Dagens krav til telling medfører både bedøvelse og opphold i luft for oppdrettslaksen. Dette er en utfordring spesielt i vinterhalvåret med lave temperaturer i luft. UHI vil derfor gi en klar forbedring for fiskevelferden ved telling av lakselus.

Luseforskriften (2012) stiller krav til hvor mange laks som må telles for lus for å få et akseptabelt gjennomsnittstall. Med bruk av UHI kan telling gjennomføres for et langt større antall laks. Det statistiske grunnlaget for å fastslå lusepresset vil med dette forbedres betydelig. Dette gir sikrere tall og bedre grunnlag for igangsetting av evt. tiltak mot lakselus.

Bruk av UHI for telling av lakselus medfører at tellingen blir objektiv utenfor enhver tvil. Konsekvenser av for høye lusetall på en lokalitet er i dag store for oppdrettere. For andre oppdrettere og av hensyn til ville bestander er det viktig at en kjenner til det reelle lusepresset fra hver enkelt lokalitet. Med automatisk telling elimineres mistenkeliggjøringen av lusetall i næringa.

### 2.1 Resultatmål

Hovedmål for forprosjektet er å verifisere at UHI kan brukes til identifisering, klassifisering og telling av lakselus på svømmende laks.

Forprosjektet har tre delmål.

1. Verifisere den spektrale signaturen til lakselus i ulike stadier
2. Verifisere at signaturen til lakselus kan skilles fra laks
3. Verifisere at korrekt antall og stadier av lus kan identifiseres på levende laks

#### 2.1.1 Verifisere den spektrale signaturen til lakselus i ulike stadier

Delmålet omfatter å identifisere den spektrale signaturen til lakselus i ulike stadier (skallskifter) og undersøke mulighetene for å skille de ulike stadiene av lakselus spektralt. Disse undersøkelsene baserer seg på kjemien i lusa.

Videre omfatter delmålet å identifisere hvilke lyskilder som er best egnet til deteksjon av lakselus med UHI.

Resultatene fra undersøkelsene danner grunnlag for beslutning om videre arbeid i prosjektet.

#### 2.1.2 Verifisere at signaturen til lakselus kan skilles fra laks

I dette delmålet skal forskjeller i spektral signatur mellom lus og laks karakteriseres.

Det skal verifiseres at de ulike stadier av lakselus kan identifiseres i sjøvann. Videre må det undersøkes hvilke lyskilder som er best egnet til deteksjon av lakselus med UHI i sjøvann.

Endelig skal det bestemmes optimal og maksimal avbildningsavstand for best resultat.

Resultatene fra undersøkelsene danner grunnlag for beslutning om videre arbeid i prosjektet.

### **2.1.3 Verifisere at korrekt antall og stadier av lus kan identifiseres på levende laks**

Resultatene fra delmål 1 og 2 må reproduseres med fisk som ikke er bedøvet og som er i bevegelse.

Det må videre beregnes hvor lang avbildningsperiode som trengs for å oppnå tilstrekkelig statistisk signifikans for et godt resultat.

Resultatene fra bruk av UHI må sammenlignes med resultat fra manuell telling utført av fiskehelsepersonell.

Dersom studiet gir de ønskede resultater, vil det danne grunnlag for et større utviklingsprosjekt som kan lede fram til en praktisk anvendbar løsning for automatisk telling av lakselus.

## 3 Undervannss hyperspektral avbilder (UHI)

---

Et vanlig kamera måler bare hvor mye rødt, grønt og blått (RGB) lys som kommer tilbake fra objektet man ser på, altså tre farger. Et hyperspektralt kamera deler opp fargespekteret og kan måle opp mot flere hundre forskjellige farger av lys som reflekteres fra objektet i hver piksel.

Til avbildning av lus har vi brukt Ecotones siste versjon av undervannss hyperspektral avbilder (UHI3). Dette kameraet måler lys med bølgelengde mellom 400 nm og 700 nm med en oppløsning på 5 nm. Dette gir omtrent 60 fargekanaler. Det måler en piksel-rad om gangen, og kameraet eller objektet beveges med en viss avstand og hastighet for å lage et to-dimensjonalt bilde.

### 3.1 Databehandling og analysemetoder

Rådataene som tas opp med UHI går gjennom flere prosesseringstrinn for å gi det ønskede resultatet. Først korrigeres det for variasjon man finner naturlig i sensoren og i optikken som er brukt. Deretter vil man ved ulike metoder justere for de aktuelle lyskildene som er brukt og for at noe av lyset blir absorbert av vannet. Etter dette sitter man i teorien igjen med hyperspektrale data, som skal være uavhengige av instrument og lyskilde som ble brukt til opptak, og av at det er vann i mellom objektet og kameraet. I praksis klarer man ikke å fjerne alle slike effekter, men man oppnår et godt nok resultat til at man kan gjenkjenne objekter basert på deres spektrale signatur. Normalisering av spektre (dividere intensiteten i hvert målte bølgeband på summen av intensiteten i alle bølgebandene) gjør at mørke objekter blir mer visuelt synlig i bildet, og at lysforholdet ikke påvirker resultatet i for stor grad. Etter denne pre-prosesseringen av data, starter analysen som gjenkjenner signaturer og skiller ulike objekter fra hverandre.

Utgangspunktet for arbeidet i dette prosjektet var de analysemetodene som er etablert for kartlegging av biologi på havbunnen. Disse baserer seg på metoden «Spectral Angle Mapper (SAM)». Da denne metoden ikke ga de ønskede resultater på lakselus, ble andre metoder forsøkt. Dette var i første omgang metoden *K-means* (MacQueen, 1967). Denne metoden brukes for å automatisk klassifisere prøvene i grupper hvor statistisk like spektre samles i samme gruppe. *K-means* er en veiledningsfri klassifiseringsmetode, og kan gi oss informasjon om naturlige grupperinger basert på spektrale likheter. For å faktisk gjennomføre klassifiseringen ble PLS (Partial Least Squares) diskriminant analyse brukt (Wegelin, 2000).

Det finnes noen elementer på fisken som spektralt ligner på lus. For å effektivt eliminere disse og unngå *falske positive klassifiseringer*, ble det etablert en firedelt hierarkisk klassifiseringsprosess;

- (1) bestemme hvilke piksler som tilhører fisk og hvilke som tilhører bakgrunn (altså omrisset av fisken),
- (2) bestemme hvilke piksler på fisken som ligner spektralt på lus (dette kan være andre mørkere flekker, sår etc.),
- (3) bestemme hvilke av pikslene som ligner på lus som virkelig er lus og
- (4) bestemme stadiet til lusene.

## 4 Prosjektgjennomføring

---

### 4.1 Målinger i laboratorium

I Arbeidspakke 1 og 2 har arbeidet vært gjennomført i to faser. Første fase har vært innsamling og klassifisering av lus av fiskehelsepersonell samt sende lus og eventuelt lus med laks fra innsamlingsstedet til Trondheim. I Trondheim har Undervanns Hyperspektral Avbildning (UHI) blitt gjennomført i Ecotone sitt laboratorium.

#### 4.1.1 Innsamling av lakselus

Det ble gjennomført til sammen fire innsamlinger av lakselus og laks.

Innsamling av lakselus ble gjort i henhold til prosedyre som er beskrevet for innhenting av lakselus til bioassay/ følsomhetsundersøkelser (Sevatdal, 2011).

Identifisering av lakselus og sortering i stadier ble gjennomført av fiskehelsepersonell med lang erfaring i telling og identifisering av lakselus. Lakselusa ble identifisert som fastsittende, bevegelige, kjønnsmodne hannlus og kjønnsmodne hunnslus.

Glassflasker ble fylt med 1 L filtrert sjøvann (filtrert gjennom planktonduk eller filtervatt) før oppstart av lusesankingen. Det nødvendige antall fisk ble anestesert og lakselus ble plukket forsiktig med pinsett og direkte overført til flaskene. Maksimalt antall lus per flaske ble satt til 50 stykk. Ideelt antall lus per flaske ble satt til 30 lus.

Flaskene ble plassert i kjøleboks umiddelbart etter plukking. Temperaturen i kjøleboksen var 10-12 °C. Lufting av flaskene ved hjelp av en lang kanyle ble utført ved ankomst på kontoret, i de tre tilfellene hvor lusa ikke ble sendt før neste dag.

I en av forsendelsene (den første) ble det sendt ca. 40 levende lus i alle stadier, men disse var ikke sortert. I den siste av de fire forsendelsene ble det sendt tre laks med levende lus i alle stadier, men ingen lus i separat beholder.

Laks med fastsittende lus ble sendt som egen forsendelse. Det ble også sendt muskelbiter av laks med fastsittende lus.

#### 4.1.2 Forsendelse

Lusene ble plukket dagen før avbildningen ble utført og oppbevart under stabile miljøforhold i perioden fra sanking til forsendelse. Lus ble sendt med kjøleelement rundt beholderne i en tetthet på maksimalt 50 lus per liter vann. Laks ble slaktet og sendt i isoporkasser med is.

Lus og laks ble sendt på to måter etter sanking:

- via hurtigbåt og buss, slik at den ankom Trondheim 5 timer etter forsendelse
- via biltransport, slik at den ankom Trondheim 4,5-5 timer etter forsendelse

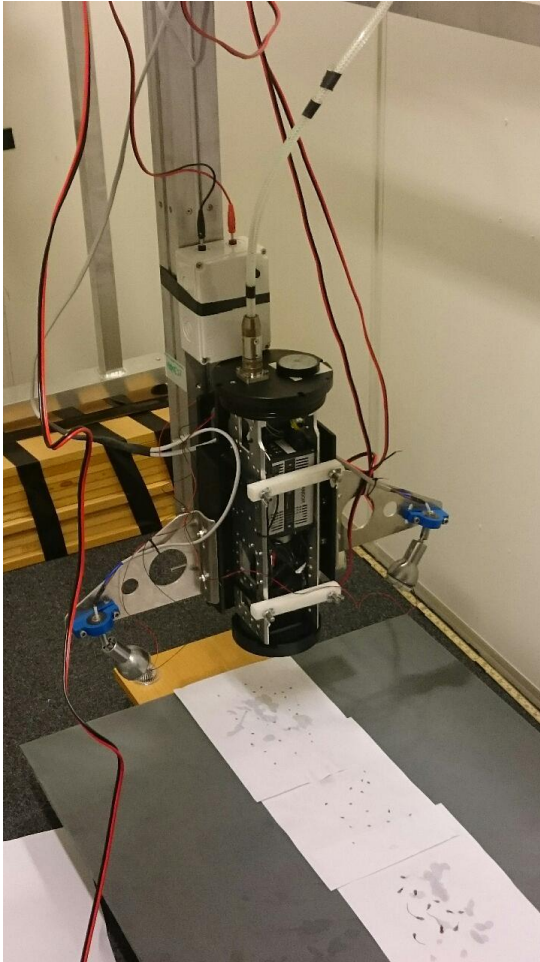
Lus og laks ble tatt imot av Ecotone og direkte overført til avbildning.

Tabell 1. Oversikt over innhold av laks og lus i de forskjellige forsendelsene. X betyr til stede på laks/laksebit.

<b>Forsendelser av laks og lus</b>						
<b>Dato</b>	<b>Fastsittende (antall)</b>	<b>Bevegelige</b>	<b>Kj.modne hunnlus</b>	<b>Sortert lus</b>	<b>Laks</b>	<b>Kommentar til innhold i forsendelsen</b>
20.05.2015	1	X	X		X	Laksebit med lus på + lus i alle stadier i egne beholdere
04.06.2015	10	X	X	X	X	ca. 40 levende lus ved forsendelse
11.06.2015	2	X	X	X	X	ca. 40 levende lus ved forsendelse
22.06.2015	3	X	X		X	Bodymap av lusens plassering på laksen var lagt ved forsendelsen

#### 4.1.3 Målinger

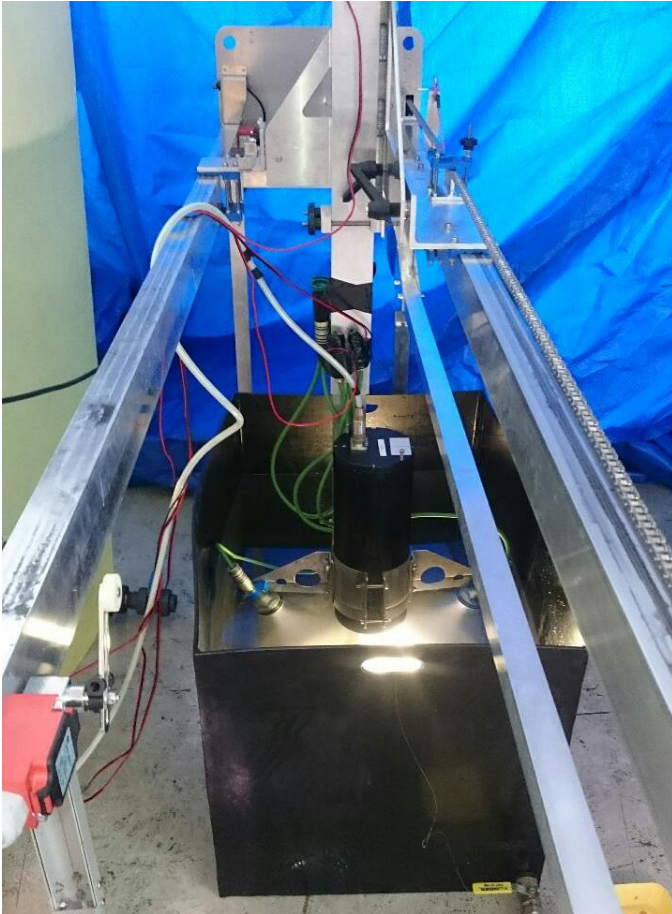
Lab-forsøkene i Arbeidspakke 1, med mål om å «verifisere den spektrale signaturen til lakselus i ulike stadier», ble endelig gjennomført, etter noe prøving og feiling, ved at omtrent 70 lus i ulike stadier ble plassert på et hvitt papirark og avbildet i luft. Lusene var levende inntil de ble plassert på ark umiddelbart før avbildning. Dataene ble senere prosessert med analyseverktøy spesiallaget for UHI. I disse analyseverktøyene «trenes» dataprogrammet til å gjenkjenne lus og å differensiere mellom lus i ulike stadier.



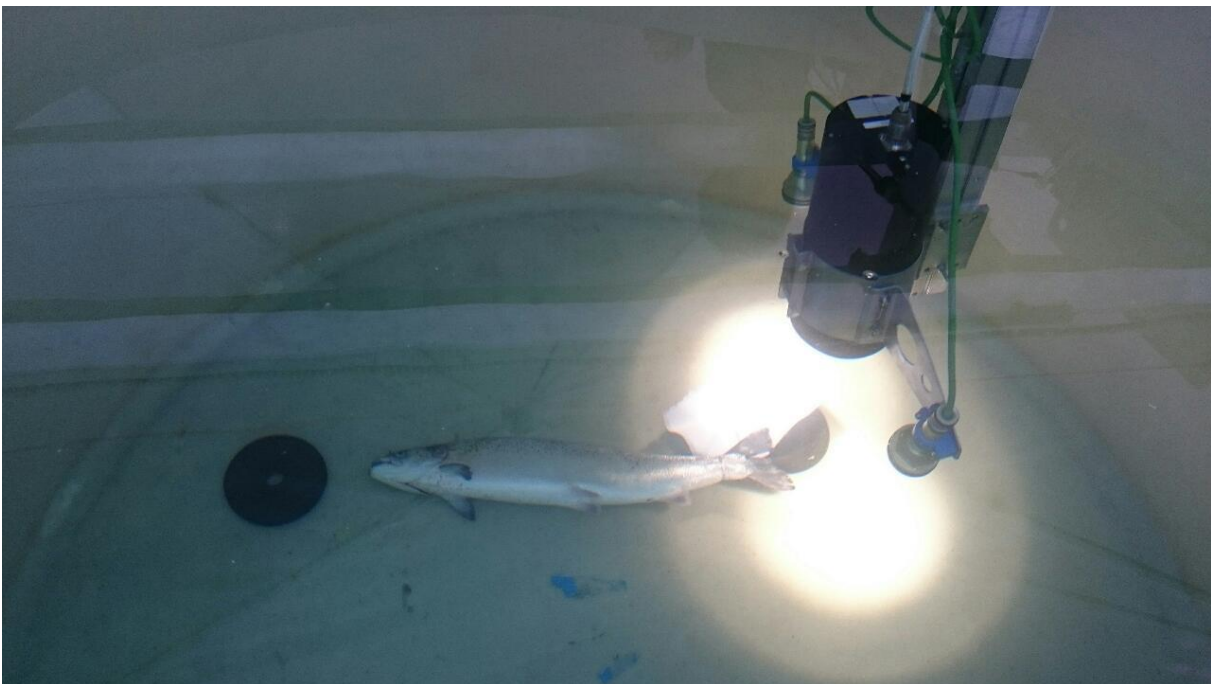
*Figur 1. Fotografi av UHI klar for måling av lus. Lusene er lagt på hvite ark for å få en jevn bakgrunn.*

Lab-forsøkene i Arbeidspakke 2, med mål om å «verifisere at signaturen til lakselus kan skilles fra laks», ble gjennomført først i luft og senere under vann på død laks. Årsaken til at målingene først gjøres i luft er både praktiske og teoretiske. De praktiske utfordringene var blant annet at fisken måtte festes på bunnen av avbildningskaret. Det var også større usikkerhet knyttet til avbildningsavstander i vann og rent praktisk i våtlaben.

De teoretiske utfordringene for hyperspektral avbildning under vann handler i stor grad om vannets optiske egenskaper. I «normal luft» kan man med god margin anta null absorpsjon i den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret. I vann har man en bølgelengdeavhengig absorpsjon. Det betyr at absorpsjonen varierer med bølgelengde, og at det innfallende lysspekteret varierer relativt med avstanden til objektet.



*Figur 2. Kar brukt for avbildning på kortere avstander.*



*Figur 3. Avbildning av laks på bunnen av karet.*



Resultater fra målinger gjort i luft er derfor vanskelig å direkte overføre til målinger gjort i vann. De kan likevel gi en god forståelse av hva som er mulig å detektere under begrensningene vannet gir. Uten å vite avstanden til objektet er det også en utfordring å sammenligne refleksjonsspektre direkte med spektre som er målt på andre avstander. Ecotone jobber med utvikling av dataanalyseverktøy som kan håndtere en slik påvirkningen av spekteret uten å vite den nøyaktige avstanden til objekt. Dersom dette ikke gir gode nok resultater kan inkludering av lakse-avstandsmåler øke presisjonen i klassifiseringen.

## 4.2 Feltforsøk slakteri

Feltforsøkene i Arbeidspakke 3 ble gjennomført på et slakteri i Midt-Norge av personell fra Aqua-kompetanse og Ecotone.

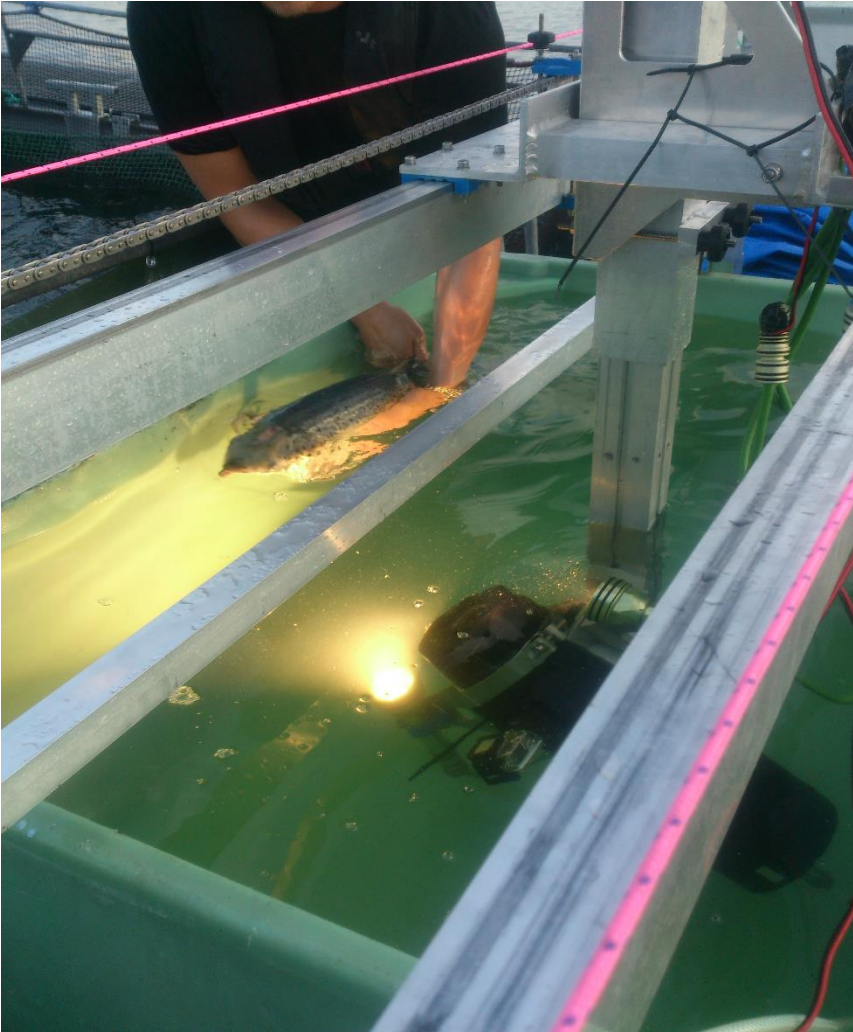
Laks ble enkeltvis overført fra ventemerd til et standard lusetellingskar (1 m<sup>3</sup>) i lyst plastmateriale ved hjelp av en storhåv av typen som benyttes til lusetelling i daglig drift. I dette karet ble fisken filmet/avbildet mens den svømte mest mulig fritt i karet. Etter filming ble fisken bedøvet med slag mot hodet og lus ble talt og klassifisert av veterinær fra Aqua Kompetanse. Fisken ble deretter umiddelbart avlivet etter slakteriets prosedyrer.

Det ble totalt avbildet omlag 12 levende laks, hvorav det manuelt ble telt lus på 9. Det ble observert frittsvømmende lus i karet. Disse hadde sannsynligvis løsnet fra fisken under håving og håndtering.

Avbildninga ble gjort i fire forskjellige vinkler, mot toppen, skrått mot toppen/siden, fra siden og skrått mot buken/siden. Det tilgjengelige karet gjorde det ikke mulig å avbilde rett mot buken. Det ble samtidig under UHI-opptakene filmet med normal undervannsvideo. Figur 4 viser en avbildningssituasjon hvor kameraet var stilt på skrått mot buken og siden av fisken.

Tabell 2. Oversikt over lus fordelt per fisk. Klassifiseringen er gjort av veterinær fra Aqua Kompetanse.

Laks	Kjønnsmodne	Bevegelige	Fastsittende
1	14	50	4
2	6	12	1
3	4	16	0
4	10	19	1
5	5+	11	0
6	4	50	35+
7	9	21	0
8	12	28	4
9	5	15	5



*Figur 4. Opptak av UHI skrått mot buken/siden av fisken. Det ble brukt eksterne lyskilder.*

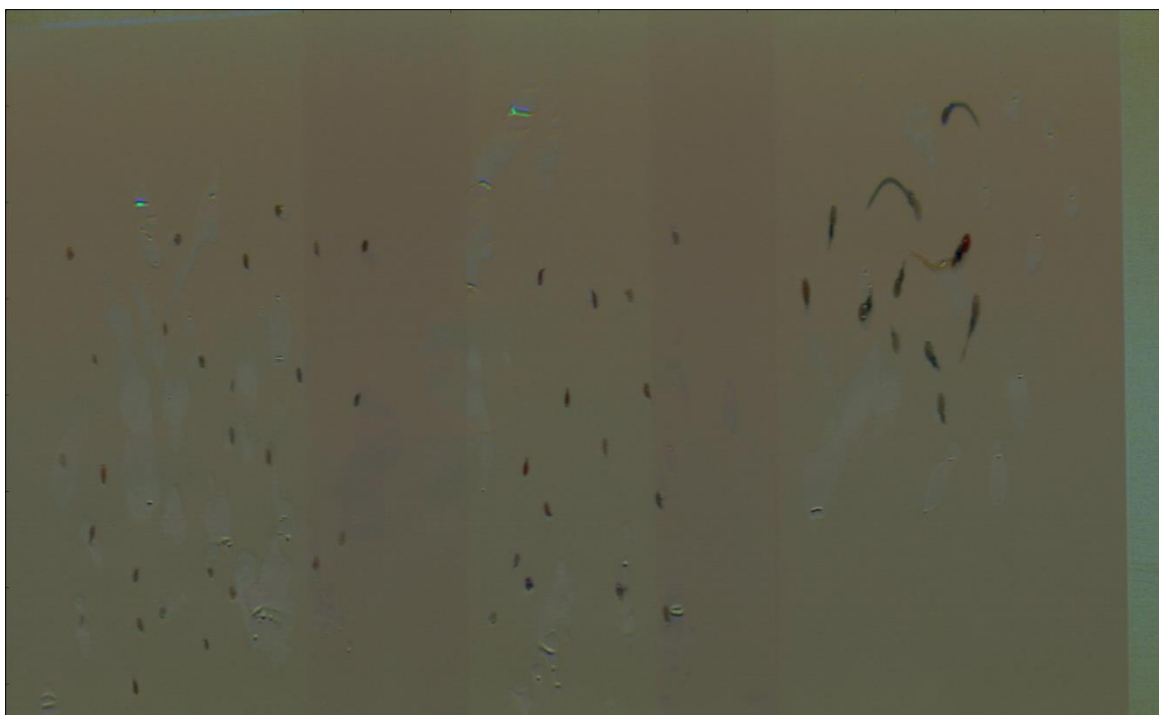
## 5 Oppnådde resultater

---

I det følgende presenteres oppnådde resultater fra de tre arbeidspakkene, samt en teknisk vurdering av disse.

### 5.1 Spekteret til lus i ulike stadier

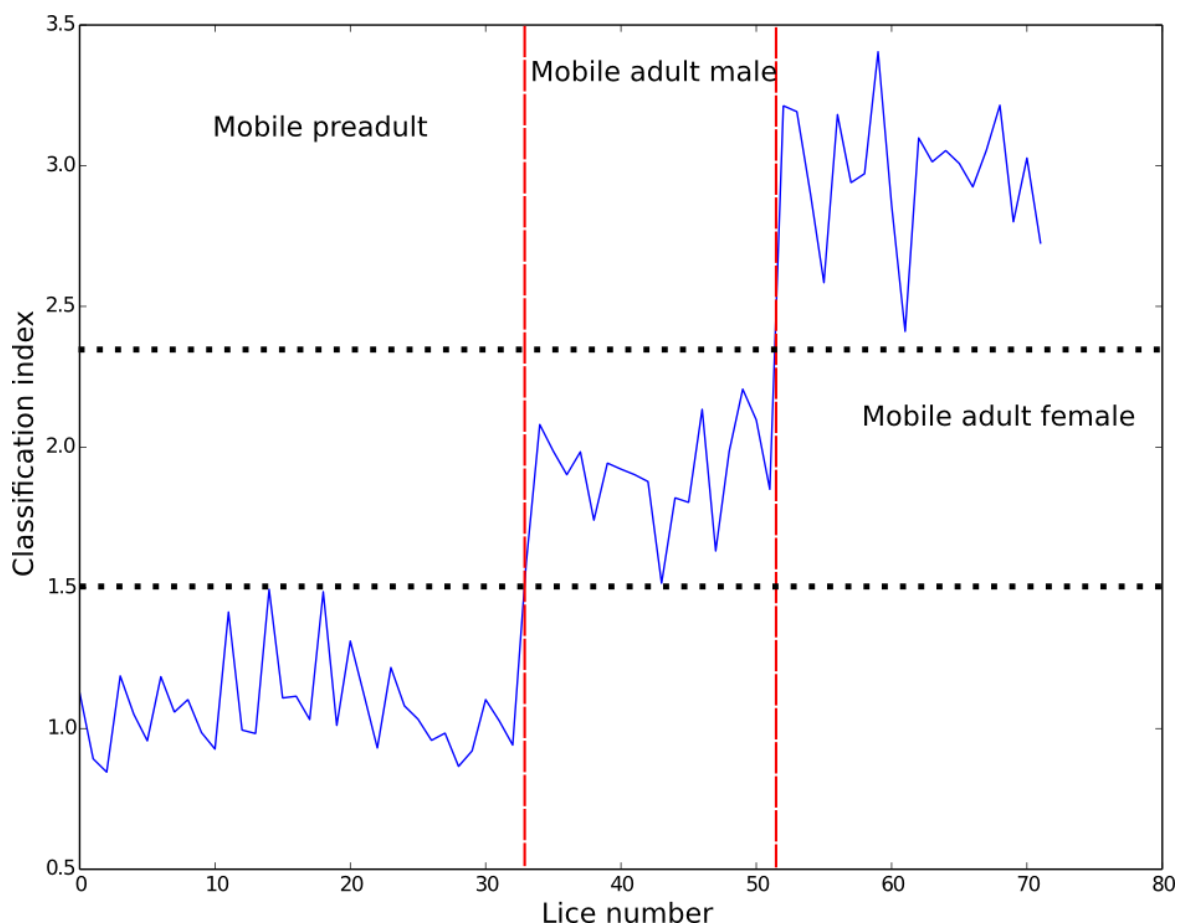
I Arbeidspakke 1 ble frittliggende lus avbildet i luft på en jevn bakgrunn. Figur 5 viser et vanlig fargebilde (RGB-bilde) av disse lusene, hvor lusene er gruppert etter stadium (identifisert av fiskehelsepersonell). Bevegelige halv voksne lus ligger til venstre, kjønnsmodne hannlus i midten og kjønnsmodne hunnlus til høyre i bildet.



*Figur 5. Lus i ulike stadier. Fra venstre: bevegelige halv voksne - kjønnsmodne hannlus - kjønnsmodne hunnlus.*

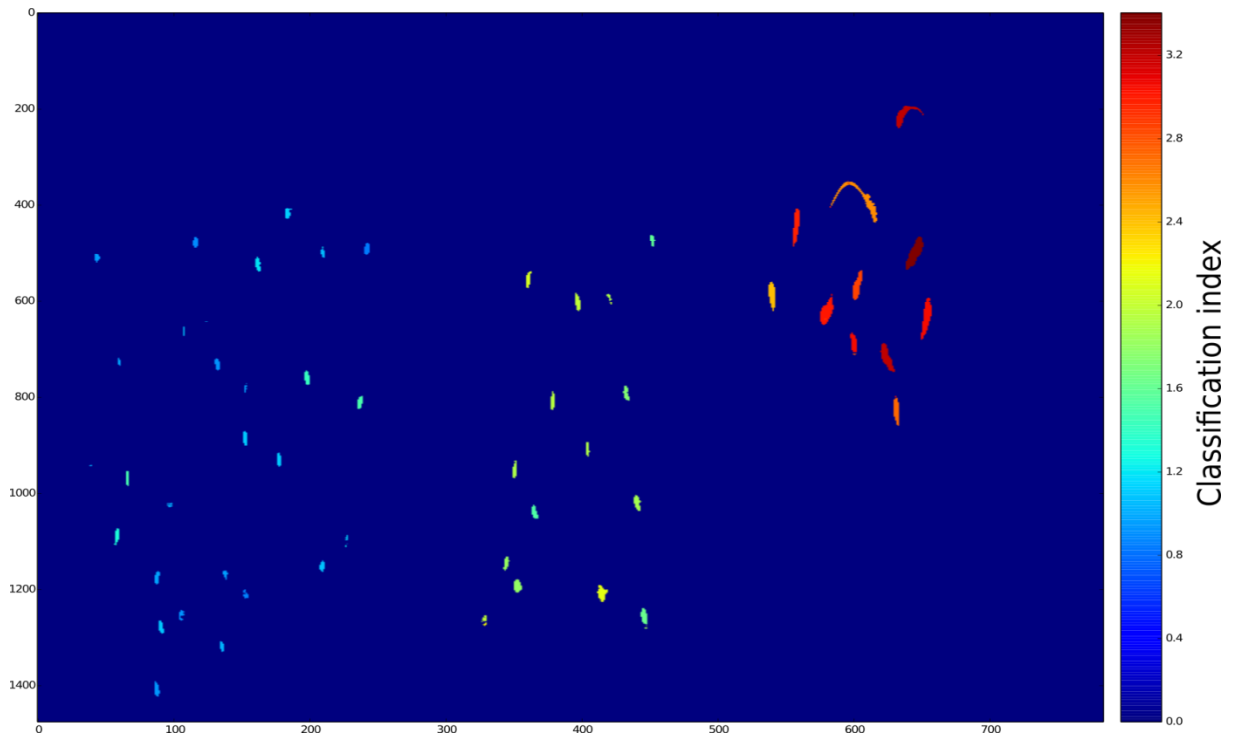
Pikslene som representerer lusene ble automatisk identifisert ved bruk av en «event-detektor». Et gjennomsnittsspekter ble deretter hentet fra hver lus. Ved hjelp av en algoritme basert på Partial Least Squares (PLS), ble det utviklet en modell for å finne klassifiseringsindeks hvor 1, 2 og 3 representerer snittet av de tre kategoriene. Klassifiseringsindeksen til hver enkelt lus ble så beregnet.

Figur 6 viser en graf hvor x-aksen representerer en indeks for hver lus fra 1 til 70. Figuren er delt inn i soner hvor man til venstre ser bevegelige lus, i midten kjønnsmodne hannlus og til høyre kjønnsmodne hunnlus. Klassifiseringsindeksen er kontinuerlig, men vi ser at det er mulig å trekke to horisontale linjer som gir tre distinkte klasser slik at alle lusene som er avbildet i dette eksperimentet klassifiseres i samme klasse som i fiskehelsepersonellet sin klassifisering. Det er rimelig å anta at det finnes en kontinuerlig variasjon for fargen til lusa (som måles av UHlen) mellom de ulike utviklingsstadiene og også innenfor et utviklingsstadium. Derfor er noen av lusene, som vist i kurven i Figur 6, på grensen til å gå over i et annet stadium.

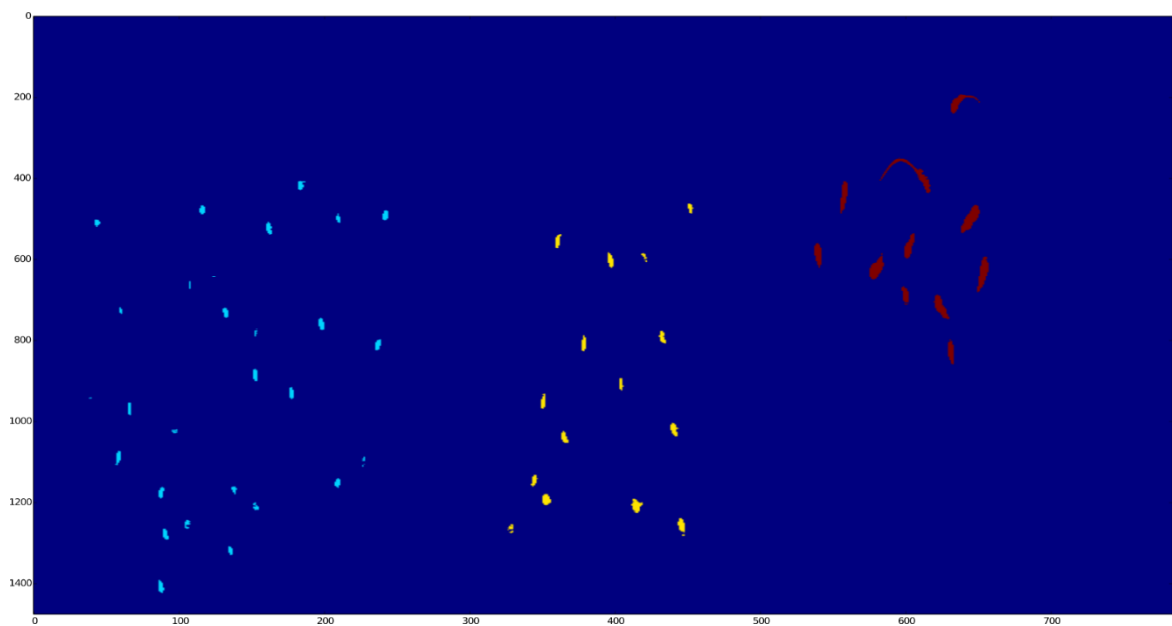


Figur 6. Klassifiseringsindeks for de tre gruppene lus. Terskler for å skille gruppene er vist med de vannrette stiplede linjene.

Figur 7 viser et kart over lusene slik de har blitt avbildet, hvor fargen representerer klassifiseringsindeksen (slik som i Figur 6). Her fremkommer variasjonen og distribusjonen mer oversiktlig fra lus til lus. Dersom terskelnivåene legges på (med terskler satt som de stiplede linjene i Figur 6), får man et klassekart som vist i Figur 8. Vi ser fra klassekartet at alle lusene klassifiseres i riktig kategori. Dette skyldes delvis at terskelen har blitt satt manuelt «til et nivå som passer», og at modellen er laget for disse lusene. For å bli sikker på denne typen klassifisering, og for å unngå falske positive klassifiseringer, bør det sikres at man måler tilstrekkelig antall lus for å fange opp nok av den naturlige spektrale variasjonen som måtte forekomme. Analysen som ble gjort her viser at vi fanger godt opp den naturlige variasjonen i prøvegrunnlaget med å bruke omtrent 30 lus fra hvert stadium, men hvor mye ekstra variasjon man kan få på f.eks. ulike lokaliteter og årstider vet vi ennå ikke.



Figur 7. Klassifiseringsindeks for lusene.

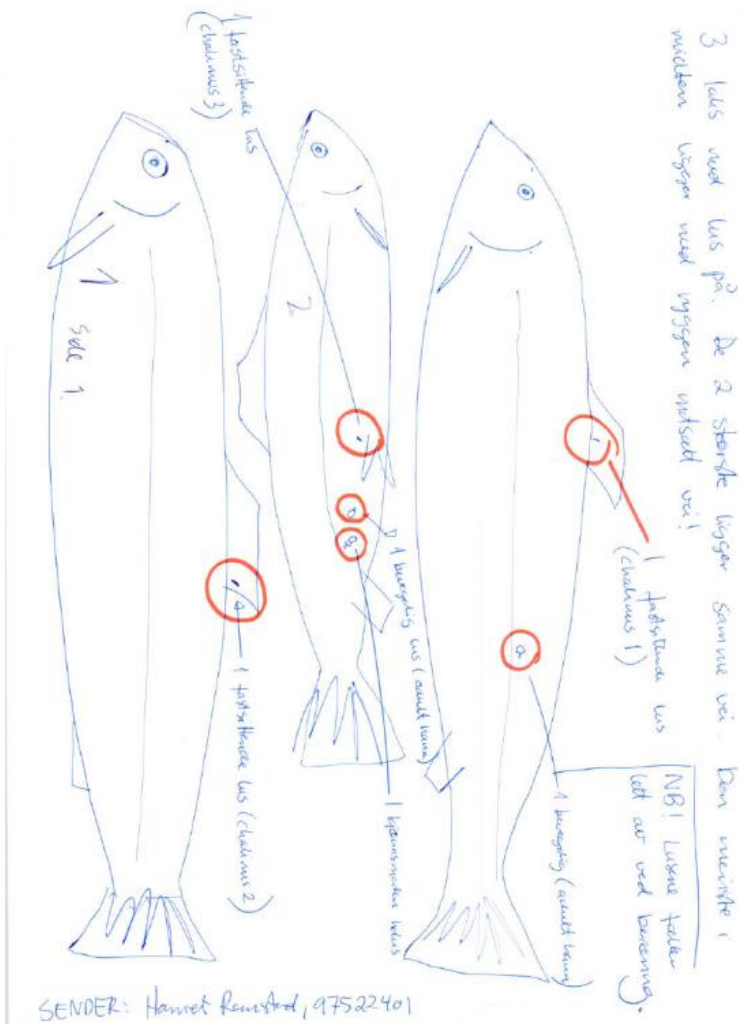


Figur 8. Klassifisering av lusene i Figur 6.

## 5.2 Avbildning av lus på død laks i luft

For å undersøke om hyperspektral avbildning kan skille lusa fra lakseskinnet ble det målt på laks, med lus klassifisert av fiskehelsepersonell. Plassering av lus på fisken ble registrert av fiskehelsepersonell som vist i Figur 9. I den videre analysen er det fisk nr. 2, i midten, som er

brukt. Denne laksen har 3 lus. Sett fra hodet og bakover er det 1 fastsittende lus (chalimus 2<sup>1</sup>), 1 bevegelig lus (adult male) og 1 kjønnsmoden hunnlus (adult female).



Figur 9. Skisse av tre laks med lus brukt til avbildning i luft.

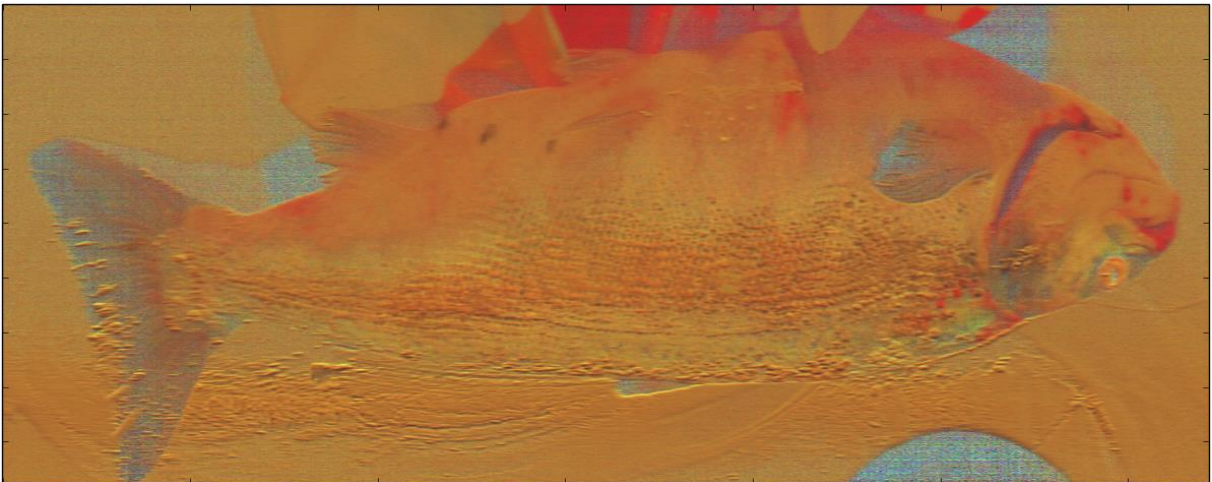
Laksen ble avbildet ved å kjøre kameraet over i en avstand på ca. 20 cm. Resultatet av dette er vist i Figur 10.

<sup>1</sup> På figuren er klassifisering av laks er gjort med «gammel metode» av veterinær. Fastsittende lus er klassifisert som chalimus 3. Etter ny metodikk er dette en lakselus av stadium chalimus 2.



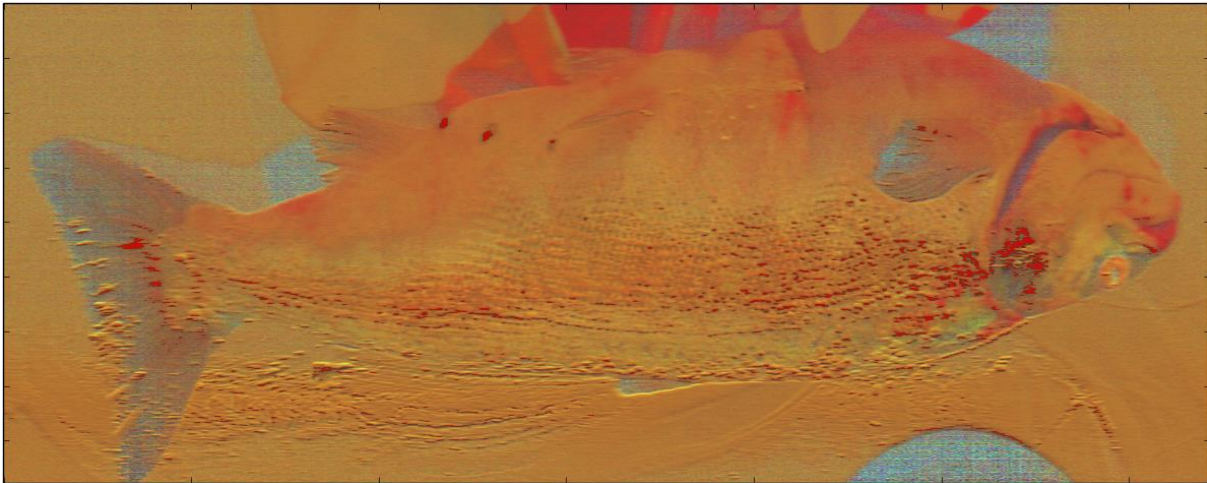
*Figur 10. RGB bilde av fisk tatt opp med UHI.*

Siden de ulike delene av laksen blir ulikt eksponert, og enkelte deler gir en kraftig direkte refleksjon av lyset, gjøres det først en normalisering av spekteret. Resultatet av dette er vist i Figur 11.



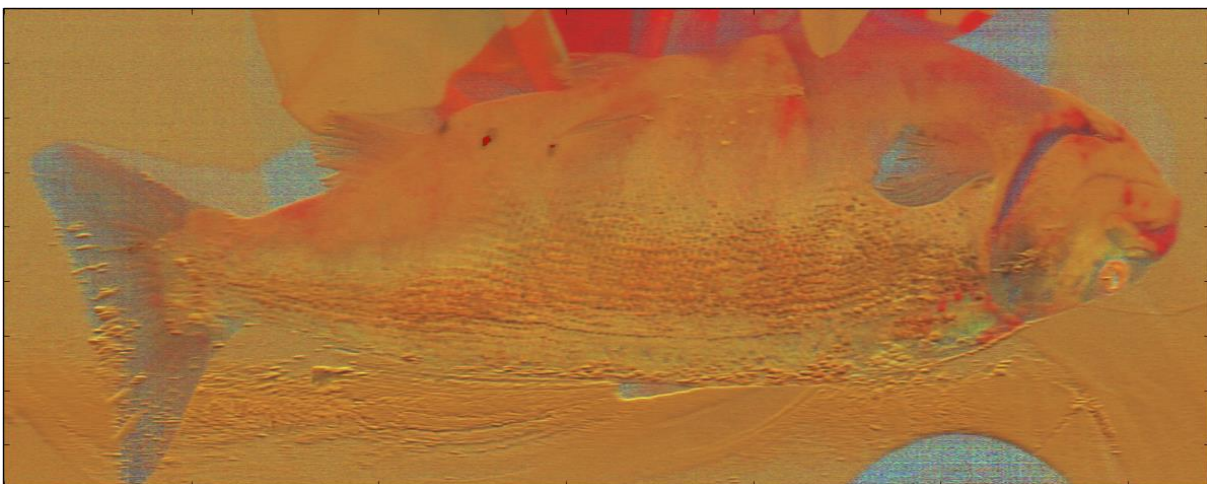
*Figur 11. Normalisert bilde av fisk.*

Dette resultatet brukes så til å gjøre en første klassifisering av pikslene basert på spekteret. Resultatet av dette er vist i Figur 12, hvor pikslene som klassifiseres som lus er markert med rødt.



*Figur 12. Bilde av fisk med klassifisering lagt på med rød farge.*

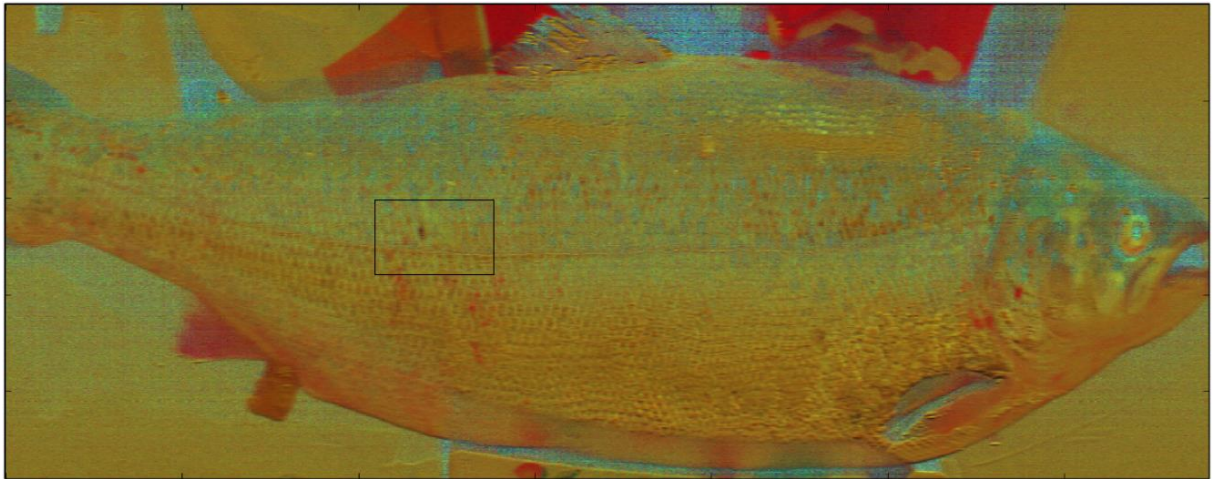
Denne første klassifiseringen er basert på en enkel, men robust spektral klassifiseringsmetode (Oshigami 2013). Fra Figur 9, ser vi at det skal være to bevegelige lus i nærheten av buken. I Figur 12 ser vi at disse to lusene har blitt klassifisert, men også mye annet er feilklassifisert. For å fjerne feilklassifiserte piksler ble metoden PLS (Wegelin, 2000) benyttet på de pikslene som først ble klassifisert som lus. Resultatet fra denne analysen er vist i Figur 13. Her ser vi at bare de to områdene som hører til lusa blir merket rødt.



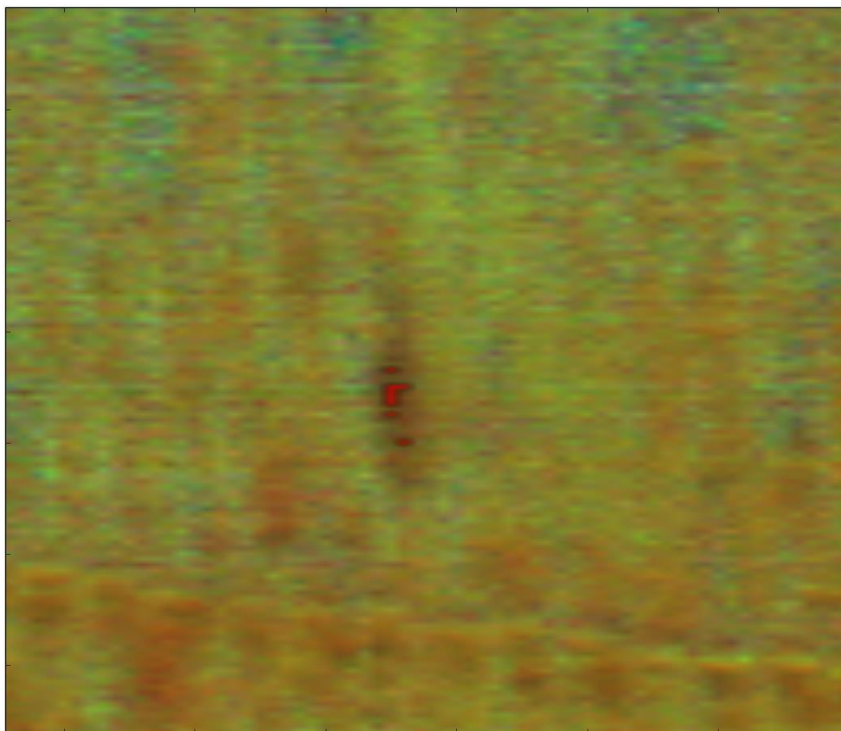
*Figur 13. Bilde av fisk med korrigert klassifisering. Det er nå bare de to lusene på buken som blir identifisert som lus.*

Analysen av denne laksen var basert på forhåndskunnskap fra fiskehelsepersonell om hvor lusa satt. Dette ble brukt til å lære opp et dataprogram til å finne lus. I neste omgang kan vi sende inn et UHI-bilde av en annen laks, og programmet bruker den tidligere lærdommen til å finne lusa. Figur 14 viser laksen til høyre i skissen i Figur 9, lusa som sitter midt på siden av fisken blir korrekt identifisert og markert rødt. Figur 15 viser en forstørrelse av område hvor lusa sitter.





*Figur 14. Resultat av klassifisering på fisk nr 3.*



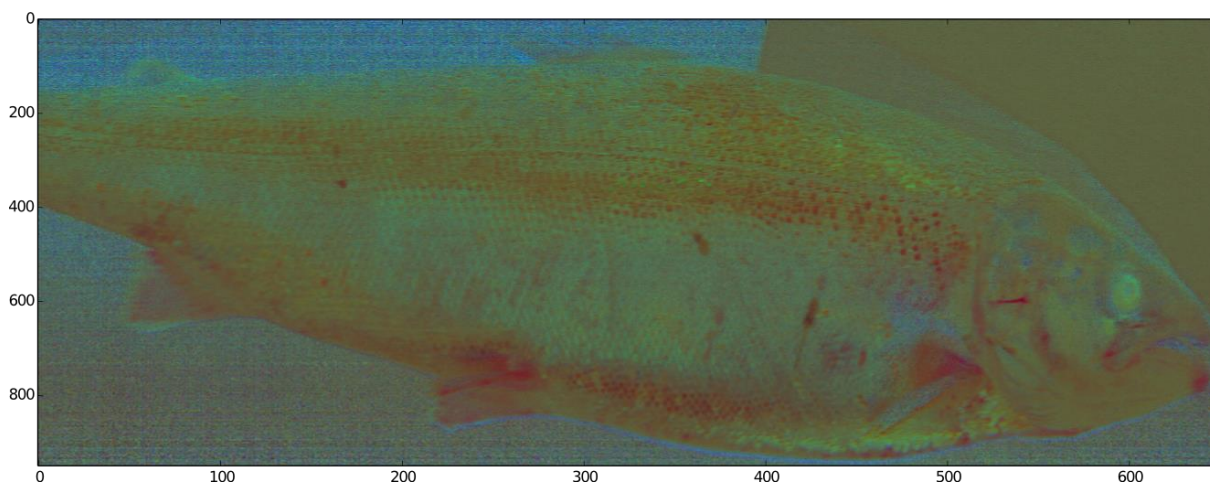
*Figur 15. Detaljert utsnitt av lus på fisk nr. 3 fra figuren over.*

### **5.3 Avbildning av lus på død laks i vann**

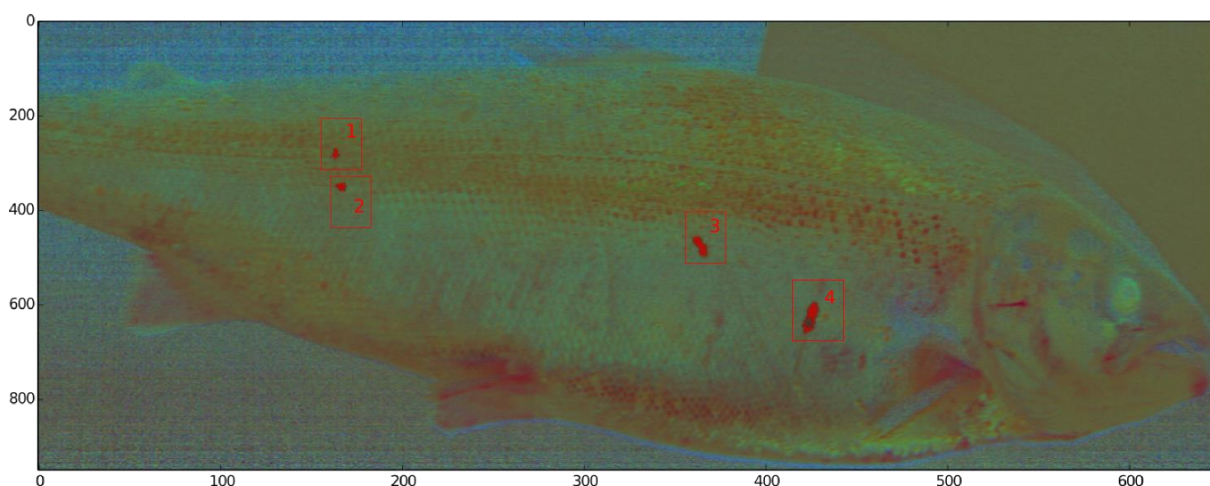
Som beskrevet i kapittel 4 ble det også gjennomført laboratorieforsøk med avbildning av død laks i sjøvann. Figur 16 viser et bilde av denne laksen hvor spekteret i hver piksel er normalisert. Klassifisering ble gjennomført ved hjelp av samme metode som beskrevet for avbildning i luft.

Figur 17 viser fire lus som ble funnet på laksen. Flere lus enn de som initialt satt på laksen, innsamlet fra andre laks, ble plassert på laksen før den ble lagt i vannet, men mange av disse fløt vekk da den ble senket ned. Ut ifra bildene ser det ut til at alle lusene som faktisk satt på fisken ble funnet av algoritmen. Lus nummer 2 i Figur 17 er en fastsittende lus, mens de resterende er bevegelige i ulike stadier. Dette viser at metoden også kan detektere fastsittende

lus. En nedre grense for hvor små lus som kan detekteres er avhengig av avbildningsbetingelsene. Med nåværende optikk ser det ut til at vi kan oppdage det største stadiet av fastsittende lus i en avstand på rundt 20 cm.



Figur 16. Normalisert bilde av laks med lus avbildet under vann.



Figur 17. Samme laks som over, men overlagt piksler som er klassifisert som lus i rødt. Lus 1 er en bevegelig lus, lus 2 er fastsittende (*chalimus 2*), mens lus 3 og 4 er kjønnsmodne hunner.

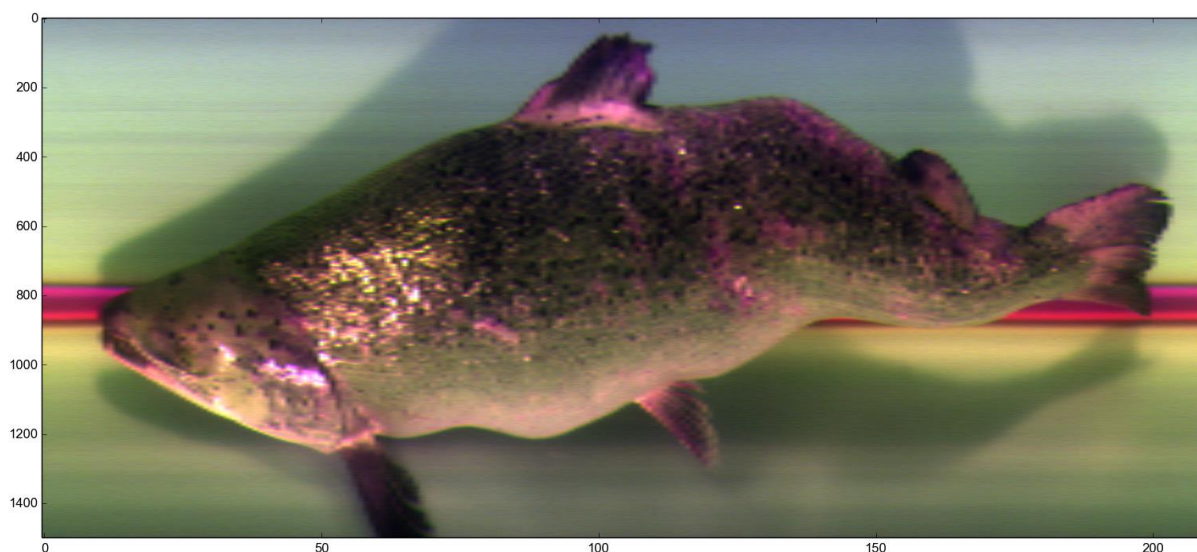
Vann har et transparent vindu som stort sett dekkes av den synlige delen av spekteret. Med UHI kan man i luft også måle noe mer i infrarødt og ultrafiolett. På grunn av absorpsjonen til vann, som gjør spekteret «smalere», kan man ikke direkte overføre resultatene og modellen målt i luft til vann. Det måtte derfor utvikles nye modeller for deteksjon av lus målt i vann. Den spektrale signaturen til lus vil fremdeles være på de samme bølgelengdene, men vanddempninga vil kunne dominere i det samme område. Akkurat dette observerer vi for lakselus, lusa gjenkjennes hovedsakelig på variasjoner rundt røde og grønne bølgelengder. Kombinasjoner rundt disse gjør at vi kan skille på lus i ulike stadier.

## 5.4 Klassifisering av lus på levende laks

Som beskrevet i kapittel 4.2 ble totalt ni laks avbildet mens de svømte forbi sensoren. Fisken virket ikke plaget av lyset fra lampene, og ble noen ganger stående med lyset rett på kroppen.

UHI er en linjesensor hvor de to-dimensjonale bildene blir bygget opp ved å sette sammen linjene i rekkefølge. Dersom fisken beveger seg, ikke bare i fartsretningen, vil fiskene kunne se

deformert ut på bildene, for eksempel se Figur 18. Dette er en effekt forårsaket av teknologien og er ikke et stort problem i forbindelse med analysene.



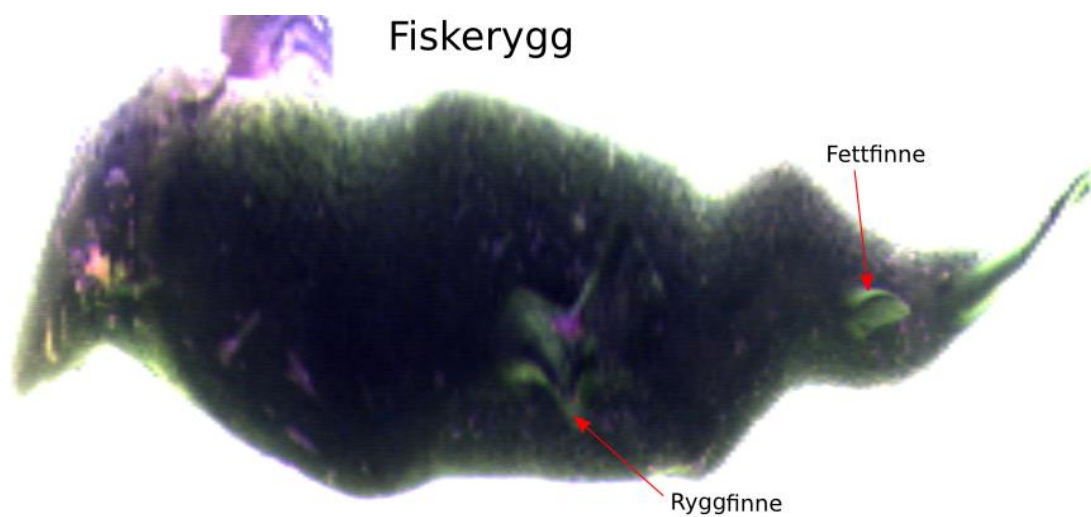
Figur 18. Svømmende laks målt med LED-lys.

Begrensningen i programvaren som er tilgjengelig for analyse av UHI-data per i dag har vært en utfordring når vi har forsøkt å klassifisere lus på svømmende laks. Derfor måtte det også legges inn ressurser på å forbedre dette. For eksempel har det blitt utviklet en «laksedetektor» som automatisk oppdager at det kommer en laks inn i bildet, og velger ut alle pikslene i bildet som representerer laks. Videre brukes disse pikslene i de resterende stegene i klassifiseringen.

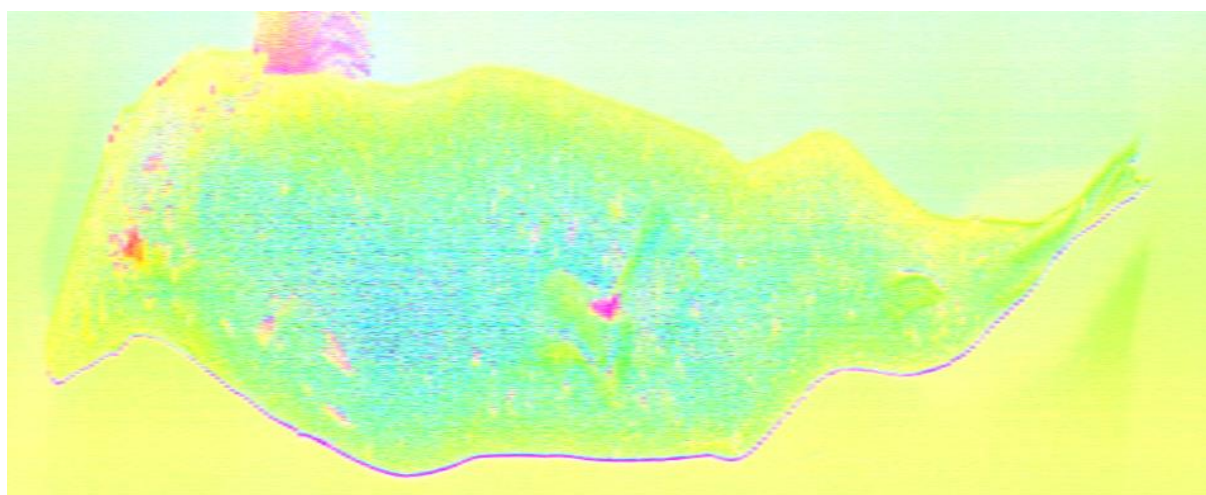
Når fisken svømmer forbi kameraet vil avstanden til kameraet endre seg. På ulike avstander vil påvirkningen fra vannet på det målte spekteret være forskjellig. Fordi en enkelt lus på 15 cm avstand ikke vil ha nøyaktig det samme spekteret som en lus på 25 cm avstand, vil dette påvirke den hyperspektrale klassifiseringen. Den varierende avstandsutfordringen må løses enten ved hjelp av forbedret databehandling eller ved hjelp av en avstandssensor som kan måle avstanden til laksen kontinuerlig under UHI-opptakene.

På grunn av de nevnte faktorer har ikke prosjektet fått analysert alle laksene (totalt ni stk) som ble målt under feltforsøket.

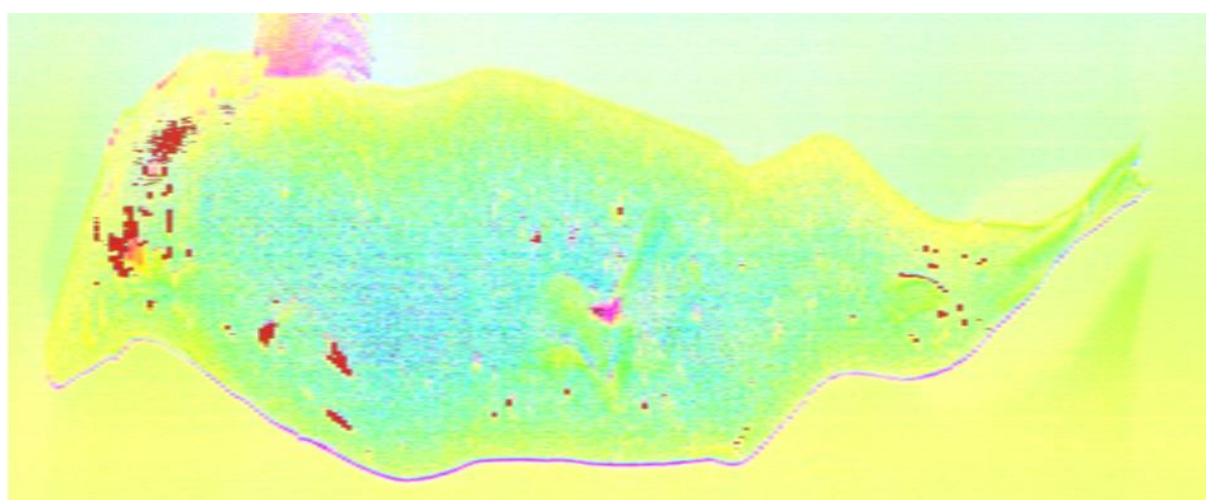
Det har blitt analysert data fra to fisk (fisk nr. 1 og 6 i Tabell 2). De manuelle tellingene for disse, samt antall oppdaget fra *en* vinkel med UHI er oppsummert i Tabell 3. Laks nr. 6 har blitt telt fra toppen, mens laks nr. 1 har blitt telt fra siden.



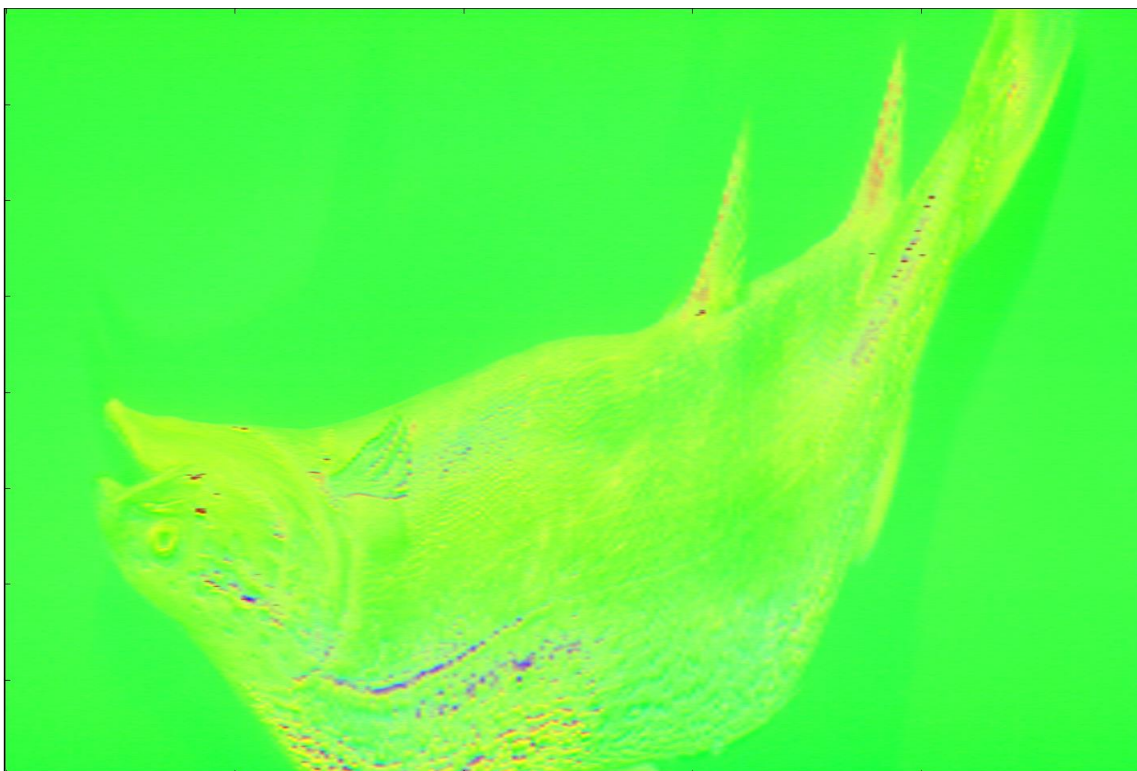
Figur 19. UHI bilde av ryggen på en svømmende laks.



Figur 20. Normalisert bilde av laksen i Figur 19.



Figur 21. Normalisert bilde med overlagt piksler klassifisert som lus.



Figur 22. Klassifisert bilde av laks nr. 1.

Når man avbilder fisken fra ulike vinkler, for eksempel fra toppen og fra siden, vil man kunne telle noen lus flere enn én gang. På laks nr. 6 ble det analysert bildet fra toppen, og gjenkjent mer enn 30 lus. Klassifiseringsmetodologien er lik som tidligere, Figur 19, Figur 20 og Figur 21 viser henholdsvis RGB-bilde, normalisert bilde og overlagt klassifisert bilde. I det overlagte bilde i Figur 21 er de røde feltene (som ikke finnes i Figur 20) stedene hvor analysen antyder at der er lus. I hoderegionen (til venstre i bildet) ser vi noen sammenhengende områder. Dette kan være feilklassifiseringer eller bare en høy tetthet av lus. Figur 22 viser normalisert bilde av den ene siden til laks nr. 1 med klassifiserte pikslers overlagt som rødt. Det estimeres omtrent 20 lus i dette bildet.

Tabell 3. Oversikt over lus på de to analyserte fiskene

Laks	Manuelle tellinger hele fisken				UHI-bilde fra en vinkel	
	Kjønnsmodne	Bevegelige	Fastsittende	Totalt antall lus	Avbildningsvinkel	Estimert antall lus
1	14	50	4	68	Fra siden	20
6	4	50	35+	89	Fra toppen	>30

Fisk 1:  $20/68 = 29\%$

Fisk 6:  $30/89 = 34\%$

Tabell 3 viser sammenlikning mellom lusetall fra manuell telling utført av fiskehelsepersonell og antall lus detektert med UHI. På fisk nr. 1, som ble filmet fra siden, ble det registrert 20/68

lus, tilsvarende 28 % av totalt antall lus. På fisk nr. 6, som ble filmet fra toppen, ble det registrert 30/89 lus, tilsvarende 34 % av totalt antall lus. Dette betyr at omtrent en tredjedel av lusa telt av fiskehelsepersonell i disse to tilfellene ble detektert ved hjelp av UHI. Det er imidlertid viktig å være klar over at kameraet kun foretok avbildning fra en side av fisken, mens manuell telling ble utført på hele fisken.

## 5.5 Tekniske vurderinger

### 5.5.1 Automatisk identifisering med UHI

Det er utviklet en firedelt hierarkisk automatiserbar klassifiseringsprosess. Første steg er å bestemme hvilke piksler som representerer fisk og hvilke som representerer bakgrunn, altså en laksedetektor. Videre bestemmes hvilke piksler på fisken som ligner spektralt på lus. Bortsett fra lus kan dette være pigmentering i skinnet, sår etc. Deretter bestemmes hvilke av pikslene som ligner på lus som virkelig er lus. Til slutt bestemmes stadiet til lusene. Det har blitt forsøkt også andre metoder, men prosjektet har kommet fram til at dette er en god metode for å identifisere lus på laks.

Det er vist over at UHI også kan oppdage det største stadiet av fastsittende lus (*chalimus 2*). Det var ikke mulig å inkludere disse i analysen som ledet til resultatet vist Figur 6, men inntrykket, etter å ha gjort analysen, er at de minste lusene har en i minst like stor grad *unik* spektral signatur som de andre stadiene. I dette studiet ble det ikke anledning til å gjøre detaljerte undersøkelser på implikasjoner vedrørende størrelsesbegrensning. Vi vet at det ved større avstand er mer utfordrende å oppdage de små fastsittende lusene.

Med UHI er det, som for det meste av annen kamerateknologi, enklere å oppdage et mørkt objekt på en hvit bakgrunn enn på en mørk bakgrunn. Dette er spesielt fremtredende for små objekter som lakselus. Det betyr at det vil være lettere å oppdage lus på de lysere områdene av fisken enn på de mørke områdene.

Vi klarer å detektere lus på levende laks som svømmer forbi kameraet. Dette gjelder både kjønnsmodne lus, bevegelig lus og en del store fastsittende lus. Vi har ikke klart å skille de forskjellige stadier av lus på fritt svømmende laks med det utstyret som er brukt nå, men som vist i AP1 og AP2 er det mulig å få til dette med bedre opptaksforhold. Det vil kreve videre utvikling av optikk og programvare for å kunne gjøre en slik klassifisering på levende laks som svømmer i et kar eller en merd. Dette vil være framtidig arbeid som kan tas inn i et hovedprosjekt.

### 5.5.2 Lyskilder, avstand og optikk

Det ble forsøkt benyttet halogen glødepære og moderne hvitt-lys LED-lyskilde for belysning under målingene. Halogen-lamper har et bredt lysspektrum som dekker hele sensitivitetområdet til detektoren, de kan derfor brukes i de fleste tilfeller. Ulempen med halogen-lamper er at de har lav energieffektivitet. LED-kilder er meget energieffektive og kan designes slik at de spektralt dekker delene av spektrumet som er mest interessante. For å skille spektralt mellom laks og lus er spesielt de røde og grønne delen av spekteret viktig. I den røde delen av lysspekteret absorberes mye under vann. For å optimalisere lakselus-klassifisering med UHI vil det være hensiktsmessig å designe lamper med høy intensitet i den røde delen av spekteret.

Det som finnes av standard LED-undervannslys på markedet i dag er ikke godt egnet for hyperspektral avbildning. Vi har derfor fått best resultat ved å bruke halogenlys i våre forsøk. LED-lys har imidlertid mange fordeler. I en framtidig storskala anvendelse av UHI til automatisk klassifisering og telling av lakselus, bør det derfor utvikles LED-lys med egenskaper

som er tilpasset hyperspektral avbildning og de bølgelengdene av lys som er nødvendig for å skille lus fra laks, samt skille ulike stadier av lus best mulig. Denne utviklingen forventes ikke å begrense progresjonen i den videre teknologiutviklinga av UHI for lakselus.

I Arbeidspakke 2 ble det prøvd ut ulike avstander i vann (fra ca. 1 m til 0,2 m) fra kamera til objekt (laks og lus). Når kameraet er nærmere laksen kan vi oppnå høyere romlig oppløsning og har derfor større sjans for at lusa blir gjenkjennelig i bildet. Det er viktig å påpeke at det ikke er nødvendig å kunne gjenkjenne formen på lusa i bildet for å vite at målingen kommer fra ei lus, det ville vært enklere i en kalibreringsfase, men det karakteristiske spekteret i en enkelt piksel vil kunne være nok. Objektivt som er montert på UHI-enheten er tilpasset brukt i havbunnskartlegging. Ved å gjøre teknologiske tilpasninger i optikken bør man kunne oppnå bedre resultater for objekter i større avstand.

## 6 Nyttevurderinger og anvendelsespotensiale

---

### 6.1 Automatisk identifisering med UHI

Hovedmål for forprosjektet var å verifisere at Undervanns Hyperspektral Avbilder (UHI) kan brukes til identifisering, klassifisering og telling av lakselus på svømmende laks. Mer nøyaktig og helst automatisk metodikk for telling av antall lakselus på laks er ønsket i næringen. Registrering av antall lus av ulike stadier er nødvendig grunnlag både for vurdering av behandlingstiltak, og for modeller/prognoser for utvikling av lusemengde over tid. Manuell telling av lus er stressende for fisken, arbeidskrevende og kan gi upresise resultat, særlig for de små stadiene av lus. Dette kan medføre underestimering av antall halv vokste og yngre lus, med for sen oppstart av nødvendige tiltak som konsekvens. Bruk av UHI vurderes som spesielt interessant hvis teknologien kan skille de ulike stadier av lusa spektralt.

Med bruk av UHI klarer vi å detektere lus på levende laks som svømmer forbi kameraet. Dette gjelder både kjønnsmodne, bevegelige og en del store fastsittende lus. Vi har ikke klart å skille de forskjellige stadiene av lus på fritt svømmende laks med det utstyret som er brukt nå. Som vist i AP2 er det mulig å skille ulike stadier av lakselus i luft, og en har derfor tro på at det skal være mulig å gjenskape resultatene i vann.

Slik teknologien foreligger i dag kan den ikke benyttes til å telle lus slik det gjøres på tradisjonelt vis (absolutte tall fordelt over hele fisken). Teknologien kan derimot brukes til å si noe om endringer og trender i total antall lus. Utstyret vil kunne utføre kontinuerlige eller hyppigere tellinger på et større antall fisk enn de manuelle tellinger næringen utfører i dag. Tendenser til økning i lusenivå vil derfor umiddelbart fanges opp. Dette vil være gunstig i perioder av året hvor luseutviklingen går raskt samtidig som smittepresset øker. Travle perioder på året vil ofte sammenfalle med høy sjøtemperatur og risikoperioder for lusekontroll. Overvåkning av lusenivå ved hjelp av UHI vil derfor kunne utgjøre en ekstra kapasitet og sikkerhet her.

Kontinuerlig registrering av total mengde lus vil være ved bruk av rensefisk, både med tanke på vurdering av effekt og innblanding av rensefisk. Oppdatert informasjon samt historikk om lusemengde på merdnivå kan gi ekstra beslutningsgrunnlag slik at rensefisken fordeles optimalt i anlegget.

Nytteverdien av UHI vil, basert på nåværende resultater, ligge i tidlig og kontinuerlig registrering av lusenivå. Ved utvikling av et UHI-basert system med automatisert telling og klassifisering av lus på svømmende laks, vil dette kunne erstatte dagens krav om manuell telling i luft.

Det vil kreve videre utvikling av optikk og programvare for å skille stadier av lakselus på levende laks som svømmer i et kar eller en merd ved hjelp av spektral signatur. Dette må adresseres i det videre arbeidet.

### 6.2 Lyskilder, avstand og optikk

Erfaringer fra havbunnskartlegging sier at fisk ofte oppsøker lys, og faktisk «svømmer i veien» for kamera. Det er uvisst om dette også gjelder oppdrettslaks eller om den vil ha en unnvikende adferd i forhold til kamera og lamper.



I dagens havbunnskartlegging med UHI er avstanden til bunnen normalt 1-2 m. Det er også gjort vellykkede tester med avstand opp mot 7 m. Resultatene fra prosjektet viser at vi bør ha en avstand som er mindre enn dette for telling av lakselus.

Utfordringen med hensyn til avstand og en eventuell unnvikende avferd, kan tenkes løst med å ha kamera i nærheten av mer attraktive steder i merden, som for eksempel fôringsplass, kombinert med tilpasset optikk og lamper.

Dersom man velger å telle lus rundt fôringsplassen vil resultatet kunne avhenge av når på døgnet man teller. Det er et hierarki i merden, og forskjellige grupper med laks vil spise fôr til forskjellige tider av døgnet. Man vil heller ikke kunne fange opp svakere fisk, som ofte vil befinne seg mot utkanten av merden, mot notveggen. Dersom dette viser seg å være et problem bør det være løsbart, for eksempel ved å flytte kameraet rundt i merden.

Infektive luselarver søker mot lys, slik at de beveger seg mot overflaten om dagen og lengre ned i vannmassene om natten. Enkelte anlegg hvor fisken har gått dypt (som følge av luseskjørt) er det blitt registrert økt påslag i mørketiden på vinteren ved benyttelse av undervannslys mot kjønnsmodning. Lyssetting ved kameraet kan derfor ha betydning på lakselusas bevegelse i merden.

Kameraet vil kun se en side av fisken om gangen, noe som vil ha betydning for hvilke stadier som registreres. Det er enklere å registrere lus mot en lys bakgrunn enn mot en mørk. Lakselus har en utbredelse på fisken som til en viss grad henger sammen med utviklingsstadium, selv om det er en del variasjon her. Fastsittende lus er ofte festet til buk og finner, bevegelige lus registreres ofte på siden av laksen, mens kjønnsmodne hunner og større bevegelige lus ofte vil befinne seg på oversiden av laksen og spesielt bak fettfinnen. Plassering av kamera under og på siden av laksen vil være gunstig for å fange opp de minste stadiene, mens en plassering ovenfra vil være mer hensiktsmessig i forhold til registrering av de kjønnsmodne hunnene. En kameravinkel som detekterer lus under og på siden av laksen er nyttig i forhold til tidlig registrering av nytt påslag og dermed økt handlingsrom for oppdretter. En kameravinkel som detekterer lus på oversiden av laksen vil være nyttig i forhold til registrering av kjønnsmodne lus og overholdelse av forskriftskrav.

Feltforsøket viste at omtrent en tredjedel av lusa telt av fiskehelsepersonell ble detektert ved hjelp av UHI. Disse tellingene var gjort for hele fisken, mens bildene viser et utsnitt av fisken. Det er ikke foretatt en sammenlikning mellom avbildning av alle sider av fisken og manuell lusetelling eller effekten av blindsoner (for eksempel bak finner). Slik utredning bør være aktuelt i det videre arbeidet med utvikling av UHI.

### **6.3 Andre arter**

Det er ikke testet gjenkjenning av skottelus i dette prosjektet. Skottelus er litt lysere og rødere enn lakselus, og litt mindre. En kjønnsmoden skottehunnlus er 5-6 mm. Med bakgrunn i kunnskap om skottelus og erfaring med analysemetoden bør UHI kunne skille skottelus fra vanlig lakselus.

Programmet som er utviklet for gjenkjenning av laks er lett overførbart til andre fiskearter. Programmet finner det som skiller seg ut fra bakgrunnen. Det kan derfor overføres til andre relevante arter, som for eksempel ørret og ulike arter av rensefisk.

### **6.4 Utfordringer ved bruk av UHI**

På grunn av at kameraet bare kan se en side av laksen om gangen, kan det bli en utfordring å estimere andel lus som ikke blir oppdaget av kameraet. For å oppnå tilstrekkelig statistikk på

dette kan man la UHI-lusetelling pågå samtidig som man har normal drift med normal lusetelling, etter en periode vil man kunne få nøyaktig statistikk.

Når man gjennomfører klassifiseringer vil det alltid være mulighet for å feil-klassifisere. For lusetelling vil spesielt falske positive tellinger kunne overestimere, og falske negative kunne underestimere antall lus per fisk. Det vil derfor være nødvendig å kalibrere modellen som brukes i prediksjonen godt før den faktisk settes i produksjon. Det forventes at falske positive tellinger tilnærmet kan elimineres med god kalibrering.

Fôrpartikler i vannet kan komme foran kamera, spesielt om det blir plassert i nærheten av fôringsstasjon. Disse partiklene forventes ikke å øke feilklassifiseringen. Problemer kan oppstå dersom fôrkonsentrasjonen i vannet er så høy at man ikke kan se fisken.

På noen tider av året kan vi oppleve store endringer i vannkvaliteten. Dette skyldes i hovedsak algeoppblomstring og/eller avrenning fra elver. Disse påvirker absorpsjonen av lys i vannet ulikt, men fører begge til at spekteret endres. For å bruke de samme modellene for identifisering må man justere noen parametere deretter. Endringen av vannkvaliteten ved algeoppblomstring og avrenning (Inherent Optical Properties) blir allerede håndtert av UHI i forbindelse med havbunnskartlegging.

## 6.5 Konklusjoner og anbefaling av videre arbeid

Prosjektet danner grunnlag for videre utviklingsarbeid med UHI som kan lede fram til et praktisk anvendbart system for automatisk telling og klassifisering av lakselus ved hjelp av lakselusas spektrale signatur.

Det konkluderes med at UHI kan benyttes til å registrere trender i lusepåslag. Det antas at det vil bli vanskelig å telle eksakte lusetall ved hjelp av UHI. Det må arbeides videre med utvikling av teknologi, bl.a. forbedring av utstyr og algoritmer, for en mest mulig nøyaktig registrering.

UHI kan skille ulike stadier av lakselus spektralt i luft, men det har ikke vært mulig å gjenskape disse resultatene i vann. Videre arbeid vil ta sikte på å skille ulike spektrale signaturer til lakselus fra hverandre med UHI i vann.

I et videre utviklingsprosjekt må det etableres kunnskap om sammenheng mellom resultater fra bruk av UHI og resultater fra telling av lus av kompetent personell.

Det er ikke konkludert med hvor stor andel av det totale lusetallet på en laks en kan detektere med UHI. Det anbefales at et videre arbeid adresserer forskjell i nøyaktighet og nytte ved ulike plasseringer av kamera, i.e. om kamera filmer laks nedenfra, fra siden eller ovenfra.

Alt utstyr som plasseres i ei merd må sikres slik at risikoen for gnag og hull på nota er minst mulig dersom det skulle løsnes. Det er viktig at det utvikles en utforming på utstyret som tar høyde for dette, dersom det skulle løsne fra sin plassering i merden.

## 7 Leveranser

---

Prosjektet har gitt følgende leveranser:

- Gjennomføring av arbeidspakke 1, Verifisere spektral signatur til lakselus.
- Statusrapport AP 1.

Det er skrevet egen rapport fra arbeidspakken. Denne gjennomgår arbeidet som ble gjennomført, samt gir en evaluering av resultatene fra arbeidet (Sæther m.fl. 2015). Rapporten dannet grunnlag for beslutning om å gå videre til arbeidspakke 2 i prosjektet.

- Gjennomføring av arbeidspakke 2, Verifisere lakselus på laks.
- Statusrapport AP 2.

Som for arbeidspakke 1 ble det også for arbeidspakke 2 levert en egen rapport som gjennomgår de utførte arbeid, og som evaluerer resultatene (Sæther m.fl. 2015 b). Rapporten dannet grunnlag for beslutning om å gå videre med den planlagte arbeidspakke 3.

- Statusrapport AP 3.
- Det foreligger egen statusrapport med evaluering av resultatene fra arbeidet gjort i arbeidspakke 3, Måling på frittsvømmende laks (Aas og Westgård, 2015).
- Sluttrapport

Det samlede arbeidet gjort i prosjektet er beskrevet og oppsummert i foreliggende sluttrapport.

Planlagte leveranser fra prosjektet:

- Prosjektresultater vil bli presentert på konferansen Tekmar 2015.
- Det vil bli produsert populærvitenskapelige artikler fra arbeidet i prosjektet.

## 8 Litteratur

---

Luseforskriften (2012). Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg. Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-05-1140>

MacQueen, J. B. (1967). K-means Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability 1967, 1(233), 281–297. doi:citeulike-article-id:6083430.

Oshigami, S., Yamaguchi Y., Uezato, T., Momose, A., Arvelyna, Y., Kawakami, Y., Yajima, T., Miyatake, S. and A. Nguno. (2013). Mineralogical mapping of southern Namibia by application of continuum-removal MSAM method to the HyMap data. *Int. J. Remote Sens.* 34, 15 (August 2013), 5282-5295.

Sevatdal, S. (2011). Følsomhet hos lakselus, standardisering og kvalitetssikring av bioassay. Veso Oslo, Sluttrapport Oppdrag 1768.

Sæther, K., Tegdan, J., Westgård, A. og L.M.S. Aas (2015). Klassifisering og telling av lakselus, Rapport fra AP 1. Akvaplan-niva rapport nr 7415-AP 1. Begrenset distribusjon.

Sæther, K., Tegdan, J., Westgård, A. og L.M.S. Aas (2015b). Klassifisering og telling av lakselus, Rapport fra AP 2. Akvaplan-niva rapport nr 7415-AP 2. Begrenset distribusjon.

Wegelin, J.A. (2000). A survey of Partial Least Squares (PLS) methods, with emphasis on the two-block case. Technical Report 371, Department of Statistics, University of Washington, Seattle, 2000.

Aas, L.M.S. og A. Westgård (2015). Spektrallusa statusrapport WP3. Ecotone rapport, dokument nr 1015.20A.ecotone\_spektrallusa\_statusrapport.