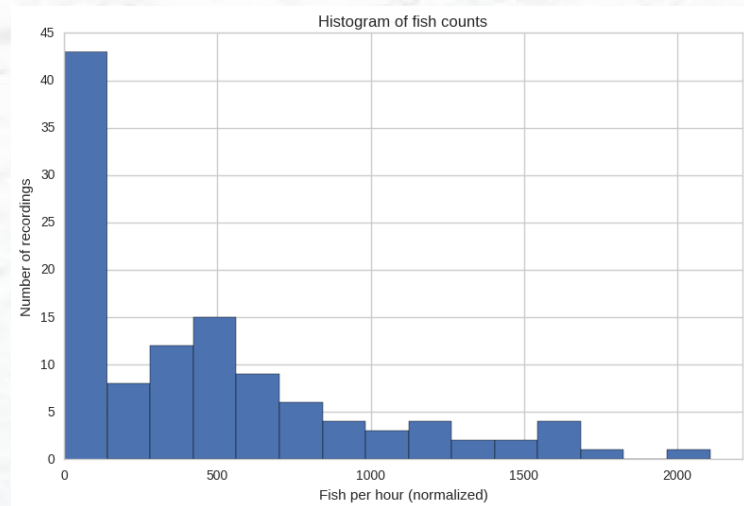




Klassifisering og telling av lakselus

Automatisk klassifisering og telling av lakselus
med Undervanns Hyperspektral Avbildning (UHI)
– fase 3



Rapporttittel / Report title Klassifisering og telling av lakselus Automatisk klassifisering og telling av lakselus med Undervanns Hyperspektral Avbildning (UHI) – fase 3	
Forfatter(e) / Author(s) Lars Martin Sandvik Aas, Ecotone Paul Anton Letnes, Ecotone Håvard Lein Braa, Ecotone Ragnhild Pettersen, Akvaplan-niva Kristin Sæther, Akvaplan-niva	Akvaplan-niva rapport nr / report no 8477
	Dato / Date 07.03.17
	Antall sider / No. of pages 28
	Distribusjon / Distribution Offentlig
Oppdragsgiver / Client FHF, Marine Harvest, Salmar og Lerøy SFG	Oppdragsg. referanse / Client's reference FHF-prosjekt 901302
Sammendrag / Summary UHI kamera og lyskilder har blitt tilpasset bruk ute i en merd og tre feltforsøk med opptak av svømmende laks har blitt gjennomført. Det ble dokumentert at laksens bevegelser forbi UHI-linjekameraet ikke ødelegger muligheten for god avbildning av laks. UHI teknologien viste også at det var mulig å detektere lus på den svømmende laksen i merden. En automatisk analyse av fisk som er kandidater for lusetelling har blitt gjennomført og sammenlignet med manuelt telte lus utført av fiskehelsepersonell.	
Prosjektleder / Project manager  <hr/> Kristin Sæther	Kvalitetskontroll / Quality control  Anita Evenset

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	3
1.1 Prosjektorganisering	4
2 PROBLEMSTILLING OG FORMÅL	5
3 GJENNOMFØRING OG METODE.....	6
3.1 Teknisk avklaring rundt funksjonalitet av UHI i merd.	6
3.2 Montering av UHI i merd	9
3.3 Identifisering av lus og evaluering av UHI bildekvalitet	9
3.4 Identifisering av kandidater for lusetelling.....	10
3.5 Klassifisering av lus	10
3.6 Oversikt over utførte forsøk	11
4 RESULTATER OG DISKUSJON	12
4.1 Identifisering av kandidater for lusetelling.....	12
4.1.1 Manuell telling av kandidater for lusetelling.....	12
4.1.2 Automatisk telling av kandidater for lusetelling	12
4.2 Identifisering av lus og evaluering av UHI bilde kvalitet	16
4.2.1 Automatisk identifisering av lus.....	18
4.2.2 Mulighet for klassifisering av lus i ulike stadier	23
4.3 Praktisk gjennomføring	24
5 KONKLUSJON OG FREMTIDSPERSPEKTIVER	25
6 LITTERATUR	27
7 VEDLEGG	28

Sammendrag

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

Til bruk i bl.a. petroleumssektoren er det utviklet en Undervanns Hyperspektral Avbilder (UHI) som automatisk detekterer ulike objekter og levende organismer basert på lyset de reflekterer. Det har tidligere vært gjennomført to prosjekt hvor det ble vist at UHI kan brukes til å registrere lakselus, og dele dem inn i ulike utviklingsstadier. Formålet med det foreliggende prosjektet har vært å avdekke om UHI-teknologien også kan benyttes på svømmende laks i en merd.

Det er funnet at UHI kan registrere lus på svømmende laks i merd, og at det statistiske grunnlaget for automatisk lusetelling er godt. Totalt er det estimert at en UHI i kontinuerlig drift i en merd kan telle lus på flere tusen fisk per døgn. På to ulike forsøk, i to forskjellige merder ble det registrert et antall fisk tilsvarende 4249 – 10640 fisk i løpet av ett døgn.. Det ble også funnet at antallet fisk som passerte UHIen varierte mye gjennom døgnet.

Det ble gjennomført en analyse av antallet fisk med lus basert på en automatisk analyse. Det ble da funnet at av totalt 1039 fisk, ble 136 fisk identifisert som sannsynlige lusebærere. Dette betyr at metoden i dette forsøket identifiserte lus på ca. 13% av fisken. Ettersom fisken er et tredimensjonalt objekt og kameraet bare ser en todimensjonal projeksjon vil registrering av lus med UHI medføre en underestimering av mengde lus. Innrapporterte tall fra den aktuelle merden viste at 60% av laksen hadde lus.

1. Innledning

Lakselus (*Lepeoptherius salmonis*) 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 lus i lakseoppdrett ikke skal overstige de definerte nivåer i henhold til Luseforskriften (2012). Lakselus har 8 ulike utviklingsstadier. I de første to stadiene svømmer den fritt i vannmassene. Deretter kommer det infektive stadiet, hvor lusa finner og setter seg fast på laks eller ørret. Lusa er videre fastsittende i to stadier før den begynner å bevege seg og gjennomgår flere skallskifter før den til slutt blir til kjønnsmodne hanner og hunner.

Spredning av lakselus skjer når lusa har blitt kjønnsmoden. Luseforskriftens krav regulerer gjennomsnittlige antall kjønnsmodene hunnlus pr. fisk i et anlegg. Luseforskriften stiller også krav om telling av lus som er i de øvrige utviklingsstadier. Telling av lakselus er krevende, bl.a. pga. størrelsen på lusa i dens tidlige stadier; lusa er bare omtrent 1 mm når den fester seg på laksen. Nøyaktigheten i telling av lakselus avhenger både av kunnskap og erfaring. 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 fange opp endringer i smittepress så tidlig som mulig, for dermed å iverksette tiltak til optimalt tidspunkt.

Næringen har et tydelig behov for sikker og objektiv informasjon om smittepress av lakselus i alle stadier ettersom konsekvensen av høye lusetall er store for oppdrettere. En nylig gjennomført studie (Aldrin og Huseby, 2017) konkluderer med at antall behandlinger mot lus i oppdrett kan reduseres med endring i telling av lakselus. Det skilles her på merdvis strategier og anleggsstrategier, hvor merdstrategi defineres som overvåkning og behandling av merder enkeltvis, i motsetning til anleggsstrategi hvor alle merder behandles samtidig på basis av observert antall lus per fisk i gjennomsnitt over alle talte merder. Beregningene i studien viser at ved å øke antall fisk som telles fra 10 til 20 fisk per merd kan antall behandlinger reduseres med ca. 10% ved en merdvis strategi og med ca. 5 % ved en anleggsvis strategi (Aldrin og Huseby, 2017). Ved å øke tellefrekvensen per merd fra annenhver uke til ukentlig kan antall behandlinger også reduseres med 10 % eller mer ved en merdvis strategi og med ca. 5% ved en anleggsvis strategi. Studien viser også at hvis alle bevegelige lus (sum av preadulte og voksne) overvåkes i stedet for at kun voksne hunnlus overvåkes, kan antall behandlinger reduseres med drøye 10 % både ved merdvis og anleggsvis strategi (Aldrin og Huseby, 2017).

For å oppnå gode tall på lusesituasjonen må et representativt utvalg av oppdrettsfisk samles inn, og undersøkes for lus i luft. Dette kravet gjelder gjennom hele året, og innebærer en utfordring for fiskevelferden. Det er spesielt utfordrende ved lave lufttemperaturer. Resultatet avhenger også av om det er et representativt utvalg laks som er samlet inn for lusetelling. For oppdrettere er telling av lakselus i tillegg ressurskrevende fordi den må gjennomføres manuelt. Det er bestemt at lusenivå skal benyttes som indikator for beslutning om eventuelt vekst i produksjon i lakseoppdrett. Nøyaktige og objektive tall for lakselus i oppdrett blir av den grunn stadig viktigere.

1.1 Prosjektorganisering

Prosjektet har vært et samarbeid mellom Akvaplan-Niva og Ecotone. Akvaplan-niva har vært prosjektleder, mens Ecotone har bidratt med spesialkompetanse og utstyr for hyperspektral avbildning.

Prosjektet er finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF), Marine Harvest, Salmar, Lerøy SFG og Ecotone.

Styringsgruppen for prosjektet har bestått av Marit Stormoen (Marine Harvest), Arne Guttvik (Salmar) og Harald Sveier (Lerøy SFG). Kjell Maroni har vært ansvarlig for prosjektet i FHF.

2 Problemstilling og formål

Ecotone har utviklet en undervanns hyperspektral avbilder (UHI) som detekterer og kartlegger ulike levende organismer og materialer basert på lyset de reflekterer. Dette kameraet måler alle bølgelengder av synlig lys, i motsetning til et vanlig kamera som bare måler mengden rødt, grønt og blått lys (RGB). Det er gjennom to ulike forprosjekt, finansiert av FHF med prosjektnummer 901093 og 901212, funnet at UHI- teknologien har potensial for registrering av lusenivå under kontrollerte forhold.

I de to foregående prosjektene ble det vist at UHI kan registrere lus på laks under vann, og i stor grad bestemme utviklingsstadiet til lusa. Registreringene fra UHI ble sammenlignet med resultat fra manuelle registreringer. Ved kategorisering av bevegelige lus i 3 ulike stadier (kjønnsmodne hunnlus, kjønnsmodne hannlus og andre bevegelige lus) målt på fisk under vann ble det oppnådd en treffsikkerhet på 85%. Ved kategorisering av bevegelige lus i to grupper (kjønnsmodne hunnlus og andre bevegelige) ble det oppnådd en treffsikkerhet på 93%. Det ble også demonstrert registrering av fastsittende lus.

Det er i tidligere prosjekt vist at UHI registrerer lus på laks som svømmer forbi kamera. Det har imidlertid vært usikkerhet ved hvorvidt bildekvalitet som kan oppnås i en avbildningssituasjon hvor laksen svømmer fritt rundt i merden er god nok for registrering av lakselus. UHI bildet er et sammensatt bilde av mange linjer til forskjell fra et bilde fra et areal RGB-kamera (vanlig kamera) og vil derfor ikke være helt likt et arealkamera bilde ved visualisering. En svømmende fisk visualisert på et UHI bilde vil kunne se deformert ut i forhold til et bilde fra et vanlig kamera. Fordi fisken er i bevegelse og UHI kameraet gjør opptak i en smal spalte vil hastigheten til fisken forbi kameraet avgjøre antall romlige piksler i lengde retningen. Selv om UHI bildet kan se rart ut for øyet vil det med stor sannsynlighet fortsatt inneholde den nødvendige spektrale informasjonen.

På grunn av dispersjon i den optiske dempningskoeffisienten til vann vil det målte spekteret fra ei lus være forskjellig fra om lusa ble avbildet i en annen avstand. Dersom man vet avstanden til fisken vil man kunne korrigere for dette. I dette prosjektet er ikke denne korreksjonen inkludert.

Hovedmålsettingen med prosjektet er å verifisere at UHI kan brukes til klassifisering og telling av lakselus på laks som svømmer fritt i en merd.

Prosjektet hadde opprinnelig tre delmål:

1. Dokumentere at laksens bevegelser forbi kameraet i merden ikke ødelegger muligheten for god avbildning.
2. Identifisering av lus på fisk, og diskutere dette i sammenheng med lokale lusetall.
3. Teknisk avklaring rundt funksjonalitet av UHI i merd.

Etter innspill fra styringsgruppen ble det fastsatt to ekstra delmål:

4. Levere statistikk på hvor mange fisk per døgn som er kandidater for en eventuell automatisk analyse.
5. Belyse sannsynlighet for at metoden kan klassifisere lus i riktige utviklingsstadier.

3 Gjennomføring og metode

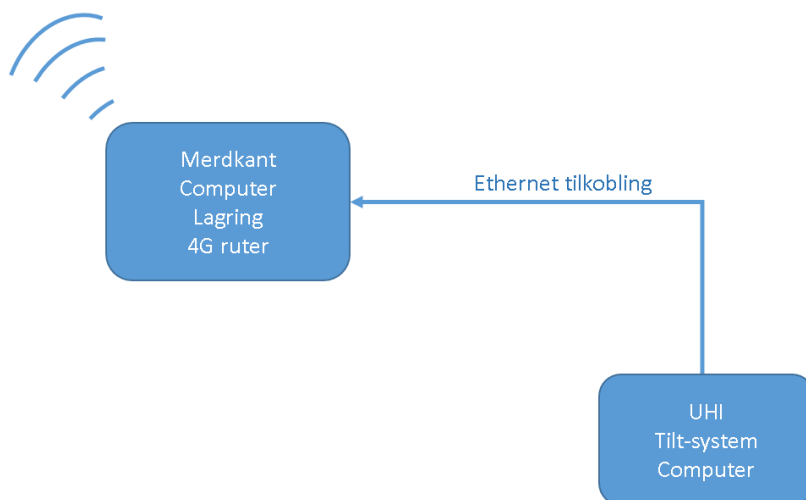
Dette prosjektet bygger på FHF prosjekt 901093 "Klassifisering og telling av lakselus" og 901212 "Automatisk klassifisering og telling av lakselus med undervanns hyperspektral avbildning: Videreføring".

For å tilpasse UHI for bruk i merd har det vært gjennomført tre felttester i prosjektet. Alle forsøkene ble gjennomført ved Persflua, en Marine Harvest lokalitet i Midt-Norge. Ekspertisen til de ansatte lokalt og regionalt i Marine Harvest ble brukt ved tilpassing av utstyr for bruk i merd. De to første forsøkene ble gjennomført i samme merd. I tiden mellom de to forsøkene ble det gjennomført avlusing. Det ble derfor bestemt å gjøre et nytt forsøk i en annen merd med høyere tetthet av lus. Størrelsen på fisken i de to første forsøkene var ca. 4 kg, mens i det siste forsøket var størrelsen ca. 2,2 kg.

3.1 Teknisk avklaring rundt funksjonalitet av UHI i merd

Før testene kunne gjennomføres ble det laget en brukerhåndbok for installasjon av UHI i oppdrettsmerd, samt gjort risikovurdering knyttet til installasjonen (Vedlegg 1).

Figur 1 viser en prinsippskisse for opptak og dataoverføring som ble benyttet i forbindelse med feltforsøkene.

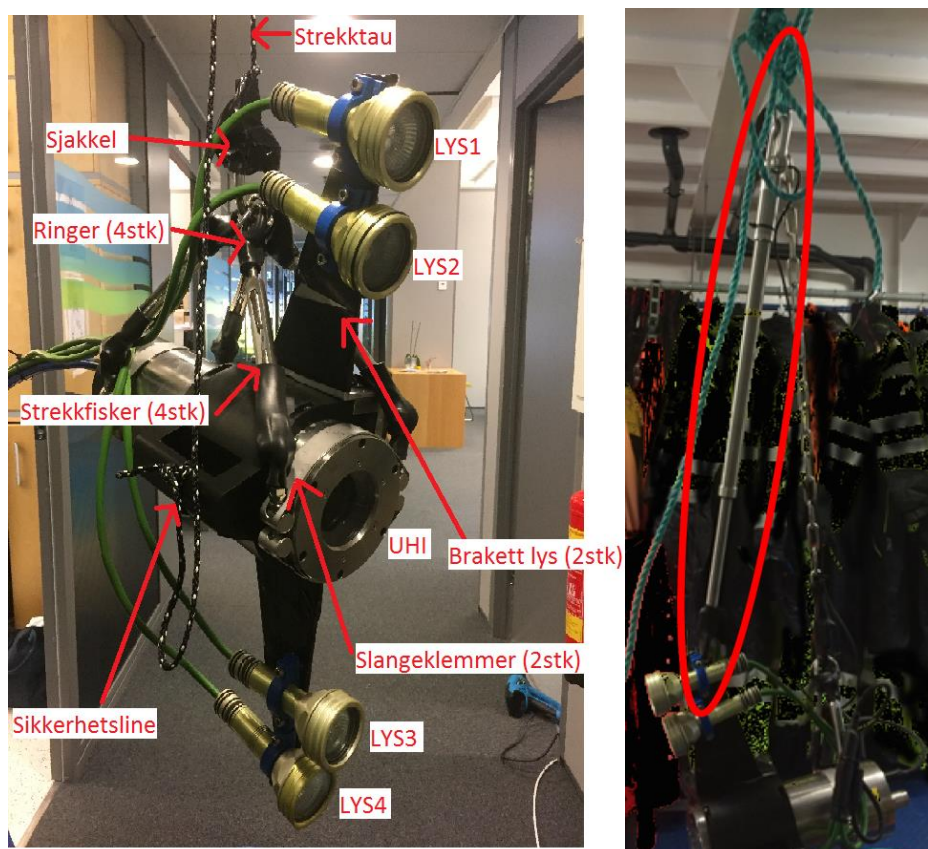


Figur 1. Prinsippskisse for opptak og dataoverføring fra UHI i merden.

Oppsettet består i hovedsak av to enheter:

1. UHI med følgende utstyr montert i merd
 - a. Lamper for belysning av fisken
 - b. Innebygd computer for datahåndtering og lagring
 - c. Tilt system for å kunne endre synsvinkel oppover, horisontalt eller nedover
2. Kabinetter med følgende utstyr montert på merdkant
 - a. Strømforsyning til UHI
 - b. Strømforsyning til lys montert på UHI
 - c. Computer
 - i. for overføring av data fra UHI til harddisker på merdkanten

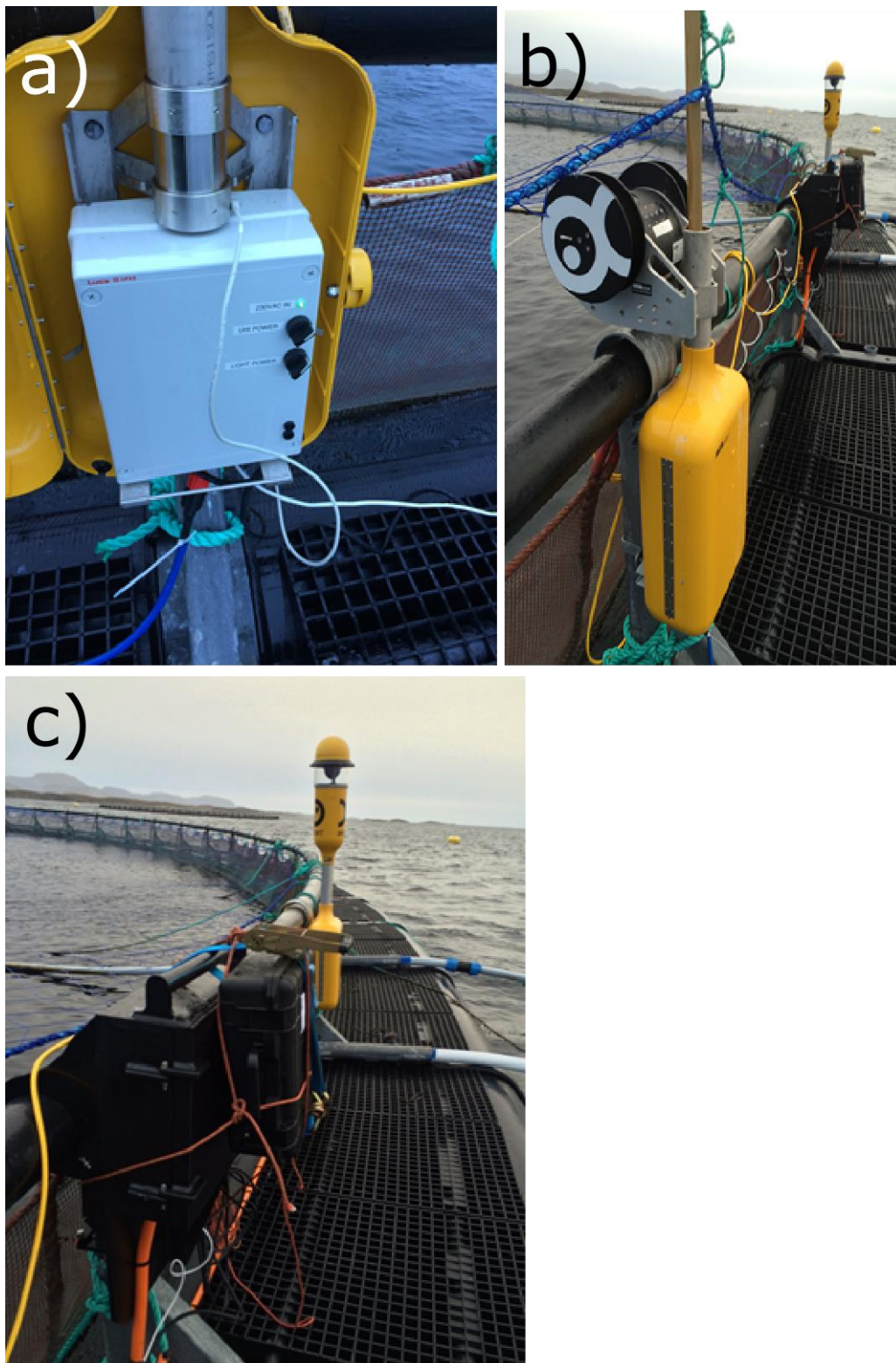
- ii. for kommunikasjon mellom UHI og Ecotone sitt kontor for styring av opptak og kontroll av data
- d. 4g ruter



Figur 2. Bilder av UHIen modifisert for bruk i merd. Til høyre vises aktuator (innringet med rødt) for justering av avbildningsvinkel.

UHI-instrumentet ble tilpasset for å installeres i merd. Lyskildene ble montert på braketter i vertikal retning (samme retning som spalta), som vist i figur 2. UHI opptak med lyskildene i vertikal retning ble utført for det første og andre forsøket. Før det tredje forsøket ble lyssettingen endret til et kryss med en lampe over, en under og en på hver side av UHI. Endring av lysoppsettet ble gjort for å se om fisken endret adferd i nærheten av kameraet når den svømmer forbi utstyret. Målet er å få en best mulig avbildning av fisken og dekke så mye som mulig av overflaten og på den måten se om det finnes en optimal konfigurasjon av UHI utstyret. Lysene var under kontinuerlig drift under hele forsøket.

Strekkfisker ble først festet i fire hjørner slik at UHIen skulle bli stabil i vannet. UHI enheten ble da montert ved at et strekktau gikk fra strekkfiskene og opp til festepunkt. Retningsstyring ble oppnådd ved hjelp av et diagonalt styretau. Før andre feltforsøk ble det montert en aktuator fra toppen av lysfinnen, slik at instrumentet kunne vippes opp og ned ved hjelp av styresignaler fra computeren (tilt-system). Figur 2 viser bilde av UHI modifisert for å monteres i merd til venstre, og aktuator systemet til høyre.



Figur 3. Bilder av utstyr på merdkanten. a) viser bilde av første koblingsboks (uten computer), b) koblingsboksen i a) ble plassert inni en eksisterende sprutsikker boks. c) viser bilde av første montering av koffert med plass til computer og 4G ruter.

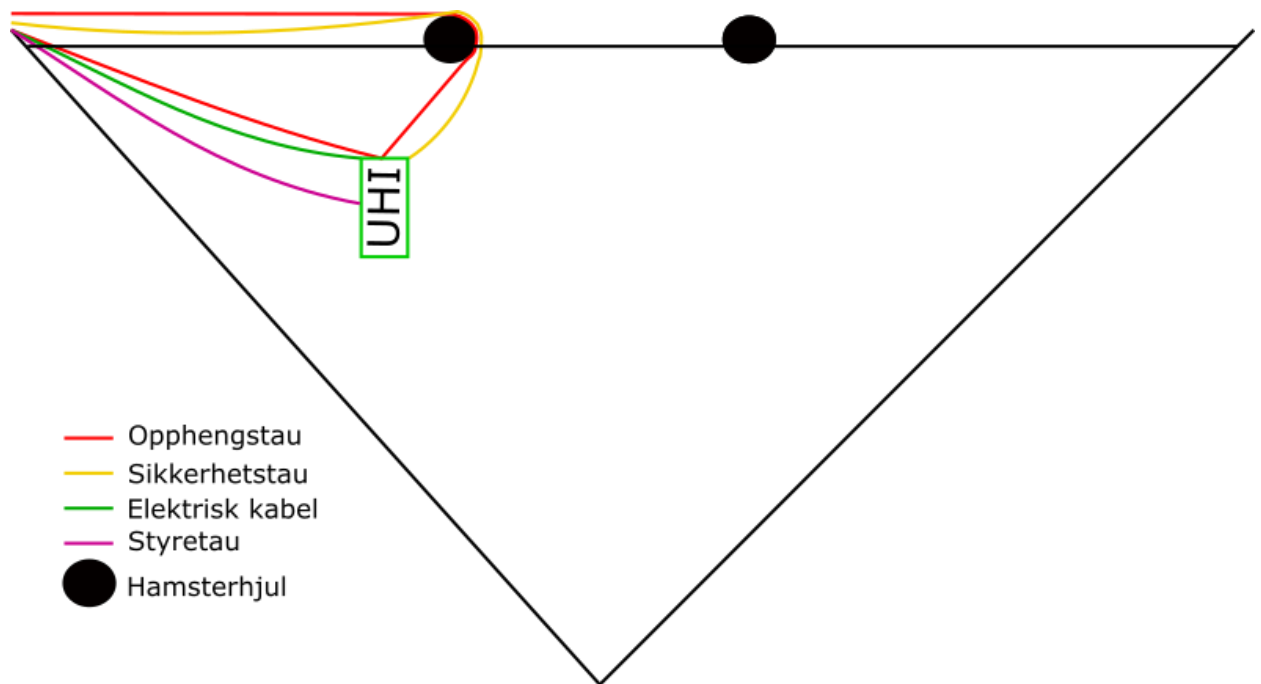
Mellom merdkant og UHI ble en undervannskabel med kombinert Ethernet og strømforsyning benyttet. På merdkanten var det først planlagt et lite instrumentkabinett (grå boks i figur 3a)) med trådløs kommunikasjon direkte fra UHI til for-flåten. Ved første montering fant man problemer med tilkobling. Det ble derfor raskt montert et ekstra

kabinett (sort koffert i figur 3c) på merden som inneholdt en computer. Kommunikasjon med UHIen over internett ble da mulig. Figur 3 viser bilder fra monteringen av de to boksene.

I en operasjonell fase vil utstyret på merdkanten bli forenklet til et enkelt robust kabinett montert med en standard festebrakett.

3.2 Montering av UHI i merd

Figur 4 viser en prinsippskisse av hvordan utstyret ble montert i merden.



Figur 4. Skisse for montering av UHI i merden.

- Et opphengstau med strekkavlastning på kameraenden holder vekta til utstyret og sørger for å holde UHI enheten i ønsket dybde og plassering
- Et sikkerhetstau holder UHI på plass dersom opphengstauet skulle ryke
- Et styretau festet i merdkant sørger for at enheten ikke roterer samt setter ønsket kameraorientering

Instrumentets dybde ble endret i de forskjellige feltforsøkene.

- Forsøk 1: ca 5 meter
- Forsøk 2: ca 15 meter
- Forsøk 3: ca 10 meter

Instrumentet ble inspisert fra det eksisterende kamerasystemet i merden under utsetting av utstyret og i den daglige driften i henhold til brukerhåndboken.

3.3 Identifisering av lus og evaluering av UHI bildekvalitet

I tillegg til UHI-linjekamera inneholder UHI-systemet et areal RGB-kamera (vanlig kamera) som kan brukes til å se på øyeblikksbilde av det som er foran kameraet. Det kan også brukes til å gjøre en manuell vurdering av bildet med høyere romlig oppløsning av det man ser på UHI-kameraet. For å verifisere at bevegelsen til fisken ikke forringer

informasjonen i bildet har det blitt gjort en sammenligning mellom informasjonen i UHI bildet og arealkamera bildet. Den samme metoden ble brukt for å se om UHI-kameraet identifiserer lus som også er synlig på arealbildet. Stillbilder av laks fra arealkameraet ble gjennomgått og på noen av arealbildene laksen avbildet nærme kamera slik at bildet ble av god nok kvalitet til at man tydelig kunne se kjønnsmodne hunnlus. Ved å se på UHI bildet fra samme tidspunkt kan man verifisere om den kjønnsmodne lusa identifiseres også der. På denne måten kan det verifiseres om UHI bildene av fisken er av en kvalitet som kan brukes i det videre arbeidet med identifisering av lus.

3.4 Identifisering av kandidater for lusetelling

Et automatisk lusetellingssystem basert på UHI (eller annen kamerateknologi) må inneholde en analyse av om objektet som har blitt avbildet er en laks, og om bildet er av god nok kvalitet til å kunne brukes som en del av det statistiske grunnlaget for lusetelling. En slik algoritme utvikles for UHI parallelt med dette prosjektet, og har vært en større del av analysearbeidet gjort etter opptakene. Metoden analyserer UHI-bildene og gjenkjenner områder i bildet som kan være fisk. Basert på kriterier som størrelse, intensitet og form lagres delen av bildet for videre prosessering.

For implementering av fisketelleren ble programmeringsspråket python versjon 3.5 brukt. Bildesegmentering ble gjennomført ved hjelp av morfologisk transformasjon og fossefallsmetoden for å skille fisk som ligger nær ved hverandre i bildet (Bradski 2000). Til slutt ble området ekspandert noe før klassifisering av lus, for å få med finner, hale, munn og andre små, utstikkende deler av fisken.

På grunn av begrensninger i lagringskapasiteten på kameraet og computeren ved merdkanten ble det gjort opptak i bare deler av tiden. Det ble gjort opptak både 10 min hver hele time og 5 min hver halvtime. Begrensninger i overføringskapasiteten til merdkanten gjorde at ved full UHI-harddisk ble det tidvis opphold i målingene.

Opptakene fra det ene forsøket ble gjennomgått manuelt for å vurdere bildekvaliteten. Det ble også registrert antallet fisk som man subjektivt mener er avbildet i god nok kvalitet til å være grunnlag for lusetelling. I tillegg er det gjort en automatisk telling av fisk på opptakene fra de to siste forsøkene. Basert på både de automatiske og manuelle registreringene ble det beregnet statistikk på hvor mange fisk pr. døgn som kan være grunnlaget for en framtidig automatisk analyse av antall lus per fisk.

3.5 Klassifisering av lus

De registrerte fiskene i forsøk 2, samt fisk fra noen utvalgte opptak i forsøk 1, ble også analysert om de var lusebærere. Det ble brukt noen opptak fra forsøk 1 for å verifisere at den automatiske luseklassifiseringen fant igjen lus funnet i manuell gjennomgang. Dette ble sammenlignet med manuelle tellinger utført av trent personell på anlegget. Ved manuell telling inngikk det 20 fisk i datagrunnlaget.

Metoden som ble brukt for å identifisere lus er basert på sammenligning av et referansespekter med spektret til alle pikslene i bildet av laksen. Referansespekteret ble hentet fra et bilde hvor det tydelig kunne identifiseres at det var en lus for å sikre at man har et korrekt referansespektrum. Det ble benyttet et referansespektrum fra aktuell lokalitet, spesifikt på grunn av at den optiske vannkvaliteten på lokaliteten er ukjent. Sammenligningsmetoden for spekter beregner en mangedimensjonal vinkel mellom

spektrene baser på algoritmen Spectral angle mapper (SAM) (Kruse et al.1993). Dersom denne vinkelen er under et forhåndsbestemt nivå vil pikselen bli klassifisert som lus.

En vurdering av muligheten for klassifisering av lus i riktig utviklingsstadier er blitt diskutert basert på analysene som er gjort i de tidligere Spektrallus prosjektene FHF prosjekt 901093 "Klassifisering og telling av lakselus" og 901212 "Automatisk klassifisering og telling av lakselus med undervanns hyperspektral avbilding: Videreføring"

3.6 Oversikt over utførte forsøk

Alle forsøk ble gjennomført ved Persflua i Bjugn, Sør-Trøndelag.

Tabell 1. Oversikt over utførte forsøk i prosjektet, utstyr og innstillinger

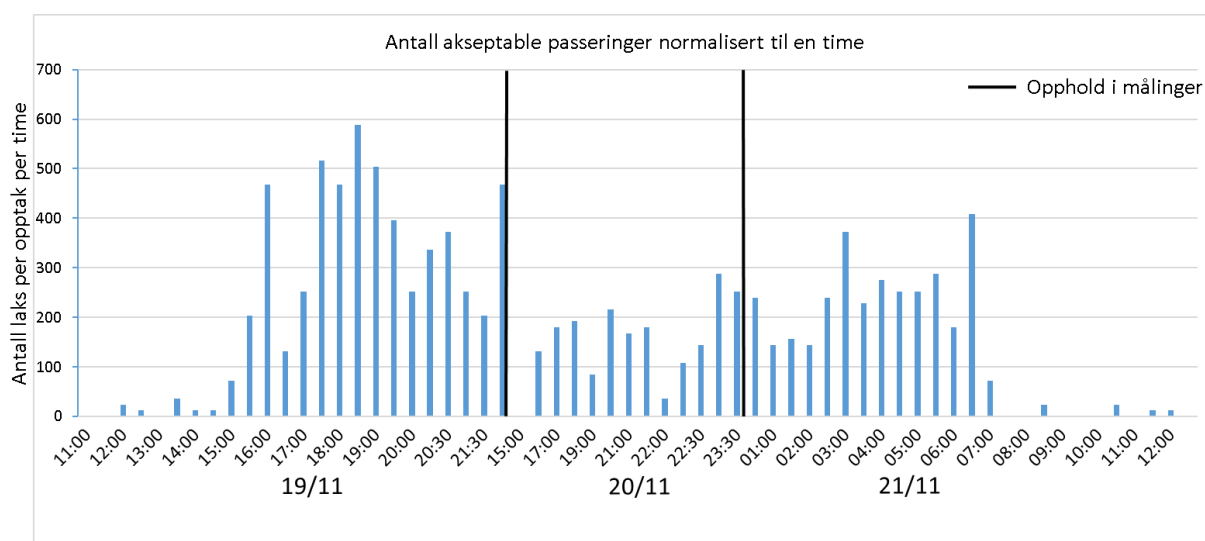
	Forsøk 1	Forsøk 2	Forsøk 3
Oppstart opptak	2016-10-25	2016-11-19	2016-12-16
Varighet av opptak (inkludert oppstart, testing og dataoverføring)	2 d 4 h 56 m	2 d 1 h 30 m	5 d 14 h 10 m
Anslått midlere fiskevekt	4 kg	4 kg	2.2 kg
RGB kamera opptak	Ja	Ja	Ja
UHI kamera opptak	Ja	Ja	Ja
Manuell fisketelling		Ja	
Automatisk fisketelling		Ja	Ja
Lyskonfigurasjon	Linje	Linje	Kryss
Varighet av opptak brukt til automatisk fisketelling		2,77 timer	9,10 timer
Varighet på opptak	10 min/time	10 min/time	10 min/time
Automatisk lusetelling	Delvis	Ja	

4 Resultater og diskusjon

4.1 Identifisering av kandidater for lusetelling

4.1.1 Manuell telling av kandidater for lusetelling

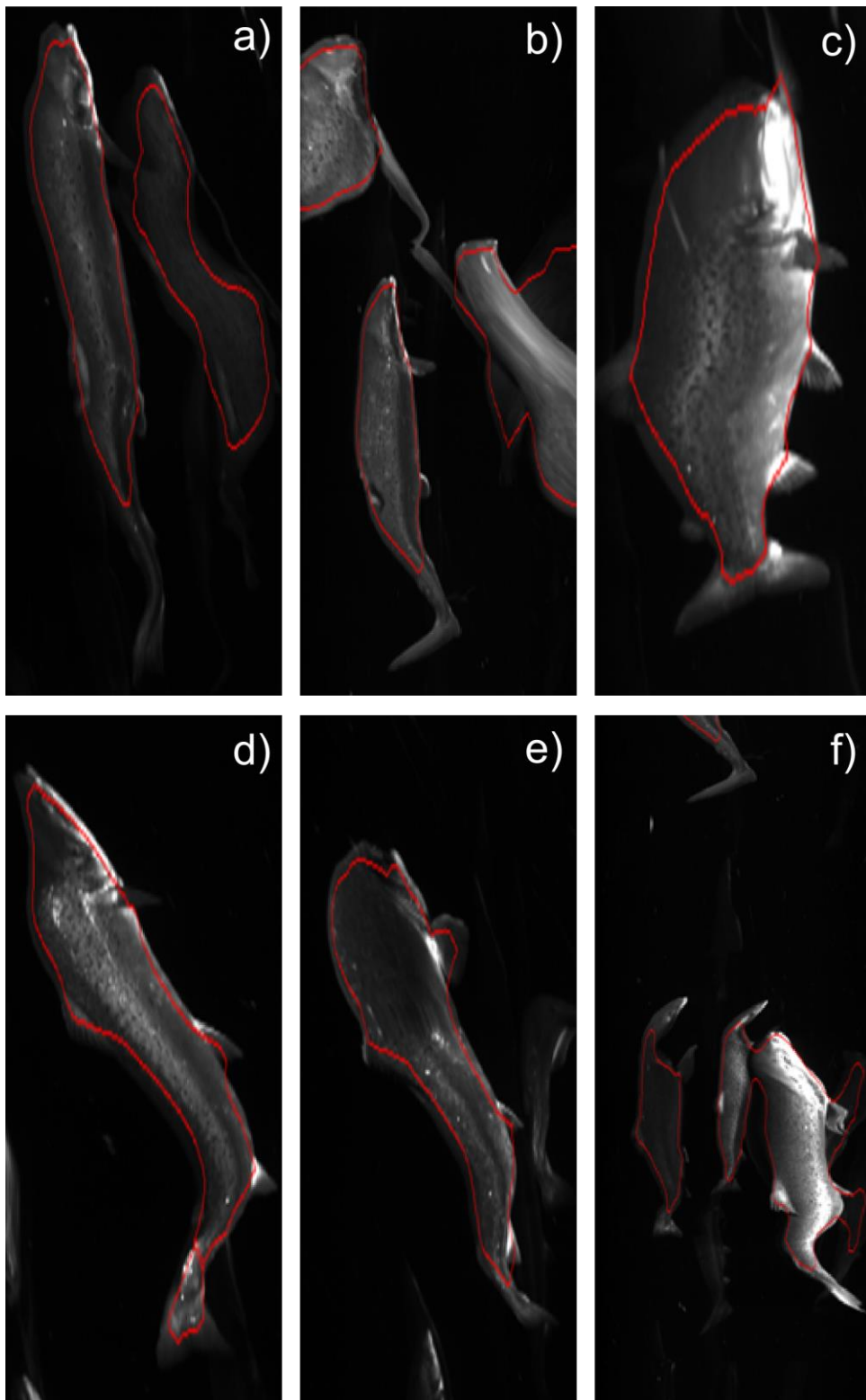
Manuell telling ble gjennomført på data fra forsøk 2. Totalt 907 fisk ble vurdert som kandidater for lusetelling fordelt på 62 opptak av 5 minutters varighet hver. Figur 5 viser et histogram over antall observerte kandidater normalisert til per time. Under forutsetningen at hver av målingene er representative for resten av timen gir det et gjennomsnitt på ca. 177 fisk per time og 4249 fisk per døgn. Det understrekes at vurderingen utført er subjektiv da den er utført av et menneske.



Figur 5: Statistikk over antall kandidater hvor manuell teller oppfatter bildet av god nok kvalitet for å ligge til grunn for lusetelling. Antall laks er normalisert til per time.

4.1.2 Automatisk telling av kandidater for lusetelling

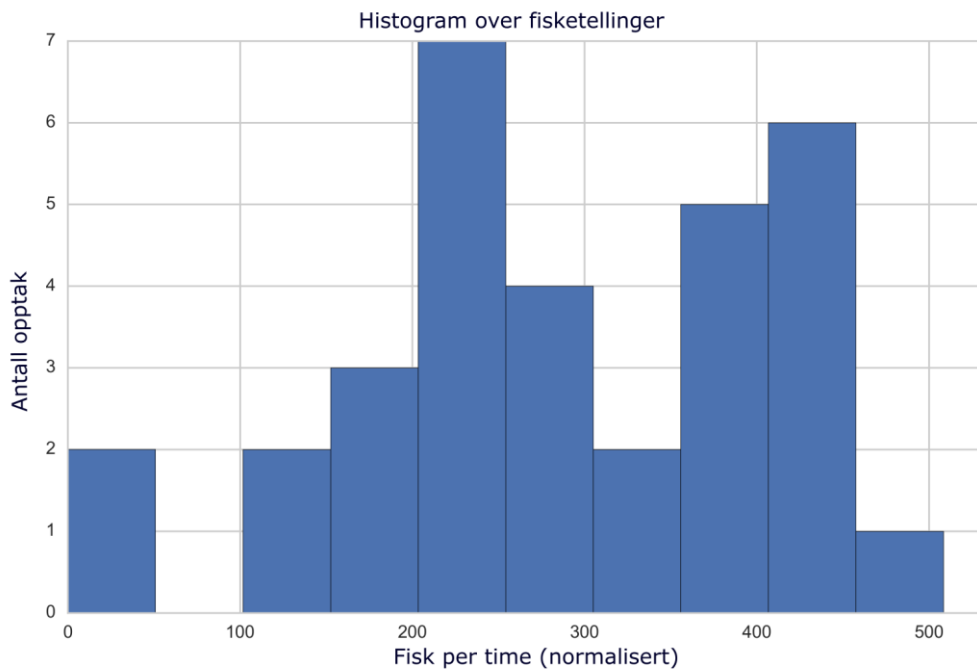
Den automatiske analysen ble gjennomført på alle tilgjengelige data fra de to siste feltforsøkene. Totalt 4809 fisk ble registrert av den automatiske metoden, på bakgrunn av 146 enkeltopptak. Færre opptak ble benyttet enn for den manuelle tellingen (32 opptak), da enkelte opptak hadde bl.a. et tau eller en rognkjeks foran deler av linsa. De fleste av disse opptakene var på dagtid, da det uansett var lav fisketetthet. Det ble ikke prioritert å skrive om programvaren til å ta hensyn til tau, men manuell telling ble likevel gjort (se forrige avsnitt). Figur 6 viser eksempler på utsnitt av laks som metoden finner som kandidater for lusetelling. De røde omrissene illustrerer grensene til områdene som ble definert som fisk. Figuren viser at metoden kanskje overestimerer noe på antallet fisk den henter ut (f.eks. er oppløsningen på de to fiskene til høyre i figur 6a og 6b ikke av høy nok kvalitet for å kunne brukes til å telle lus), i tillegg til at den ikke alltid skiller mellom to nærliggende fisk (figur 6f).



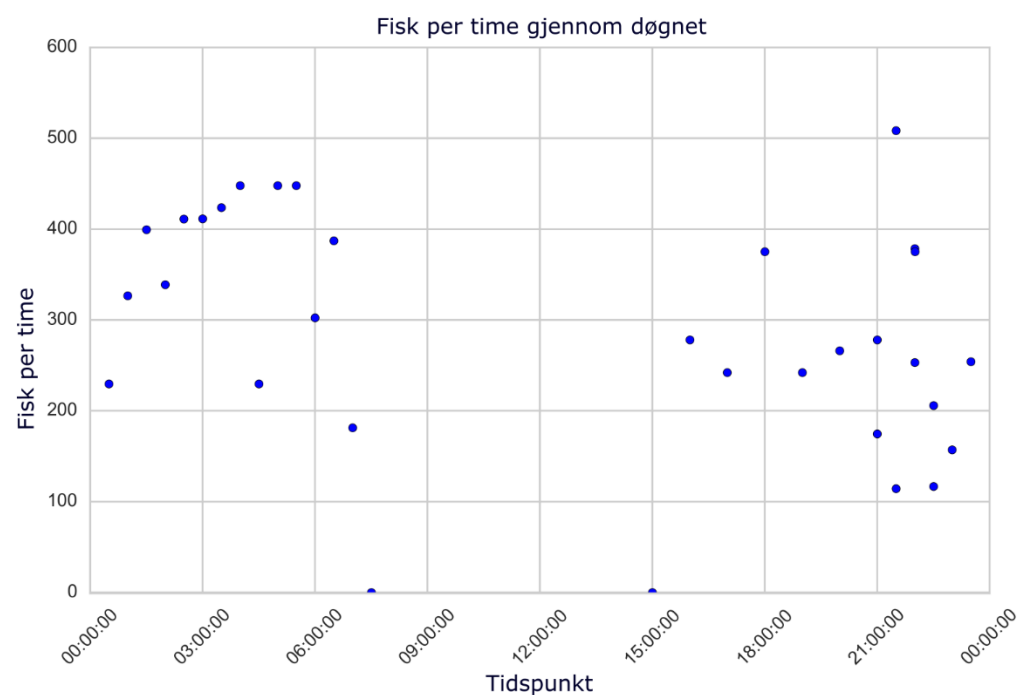
Figur 6. Eksempler på automatisk uthenting av områder for analysen av antallet fisk som den automatiske metoden klassifiserer som kandidater for lusetelling.

I forsøk 2 telles det i gjennomsnitt ca 279 fisk per time og 6702 fisk per døgn. Figur 7 viser et histogram over midlere antall fisk per time. I figur 8 vises antall fisk per time plottet mot tidspunktet på dagen. Tilfeldigvis ble det gjort få opptak om dagen i dette

forsøket pga. overføring av data. Trenden viser at det er noe høyere aktivitet på slutten av natta enn om kvelden.

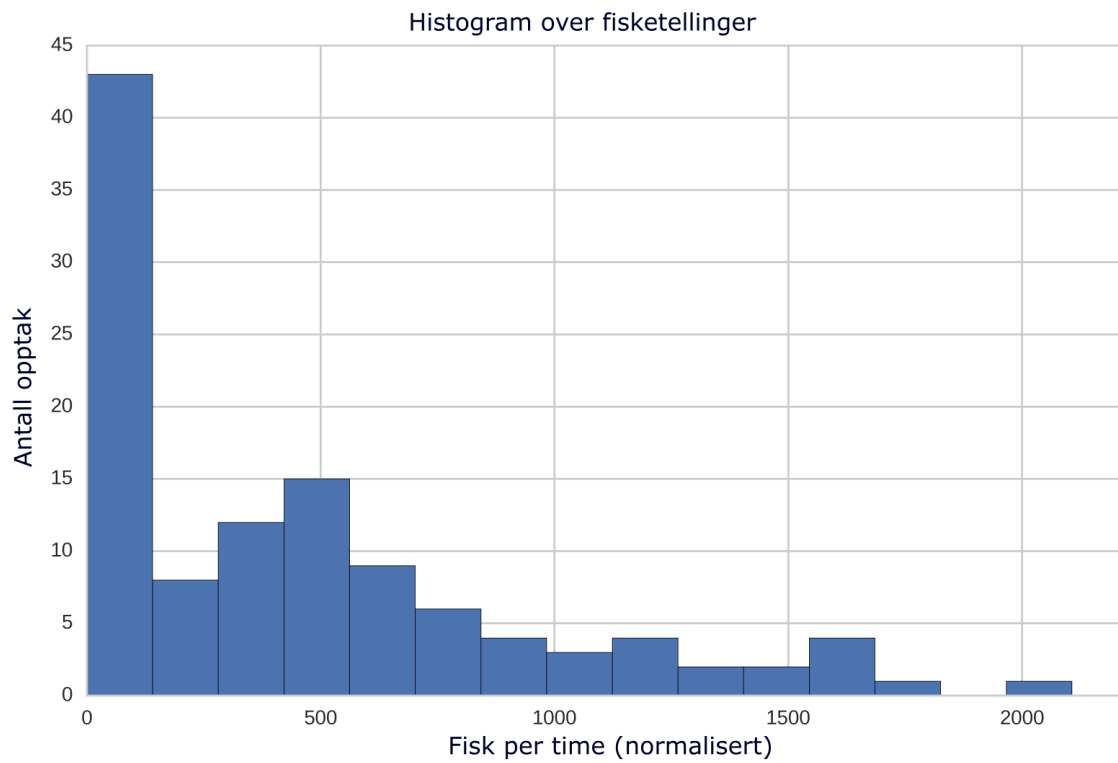


Figur 7: Histogram over fordeling av antall fisk per opptak for Forsøk 2. Antallet er normalisert til fisk per time.



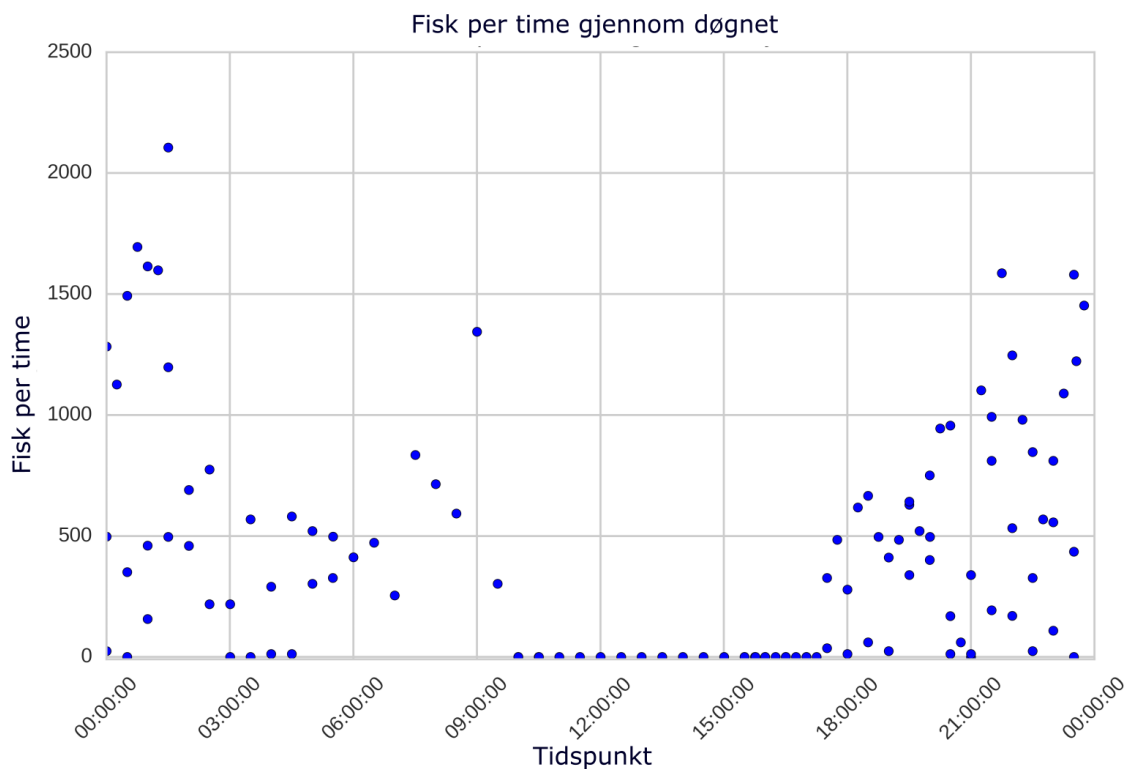
Figur 8: Oversikt over antall fisk per opptak som funksjon av tidspunkt på dagen for Forsøk 2. Et punkt tilsvarer ett opptak à fem minutter, mens verdien er normalisert til en time. Figuren inneholder data fra flere dager, altså kan et tidspunkt ha flere målepunkter.

Fordeling av antall fisk som kan telles per opptak i forsøk 3 er vist i figur 9. Figuren viser en mye større spredning i tellinger enn det som ble vist i forsøk 2. Det er også mange flere opptak med null tellinger i dette forsøket sammenlignet med forsøk 2. Forsøket viser at det er potensiale for automatisk telling av 10640 fisk per døgn.



Figur 9 Histogram over fordeling av antall fisk per opptak for Forsøk 3. Antallet er normalisert til antall fisk per time.

De manuelle og automatiske estimatene av mulig tellerate for laks i merd viser at man med et automatisk lusetellingssystem basert på UHI kan telle store mengder fisk pr. døgn. Variasjonen i estimerer på 4249 fisk pr. døgn for den manuelle og 6702 for den automatiske metoden på samme opptak viser at den automatiske metoden, slik den foreligger nå, overestimerer antall fisk som kan danne grunnlaget for analysen. Samtidig vil en manuell vurdering av bildekvaliteten til et linjekamerabilde nok være strengere enn det som faktisk behøves for å kunne bruke bildet i en automatisk analyse. En manuell vurdering av bildene vil derfor ofte underestimerer UHIens evne til å telle lus.



Figur 10: Oversikt over antall fisk per opptak som funksjon av tidspunkt på dagen for Forsøk 3. Et punkt tilsvarer ett opptak à fem minutter. Figuren inneholder data fra flere dager, altså kan et tidspunkt ha flere målepunkter.

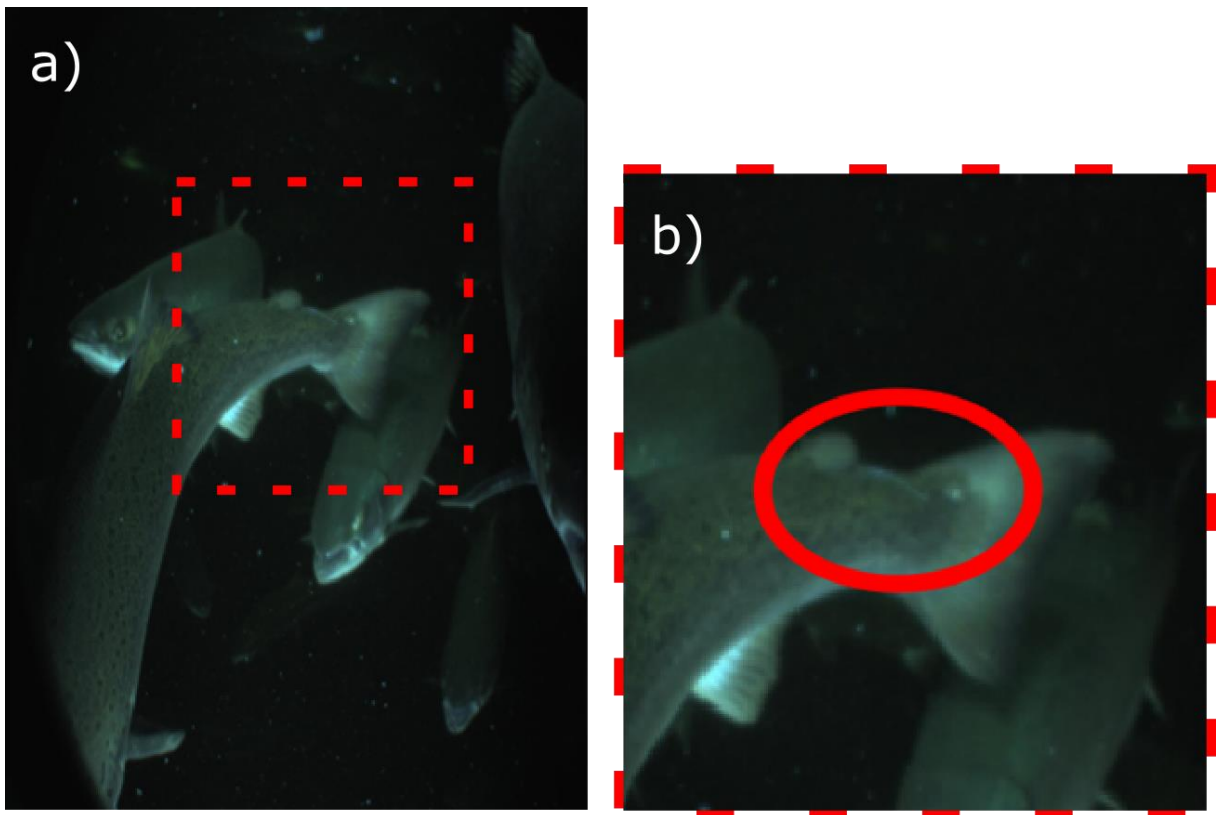
Figur 10 viser fisketellinger per time gjennom døgnet og at antallet "null-tellinger" er på dagtid mellom klokken 09.30 og 17.30. Målingene viser at systemet teller færre fisk om dagen enn om natten. Man kan om dagen nesten bare se fisk med for stor avstand til å kunne registreres/måles. At fisken ikke svømmer forbi kameraet på dagen kan ha en sammenheng med hvor i merden fisken naturlig oppholder seg gjennom døgnet. Årsaken til forflytningen kan blant annet være relatert til innstrålt dagslys eller føringstid.

Variasjonen i plasseringen av UHI-en var ikke stor nok for å kunne bestemme en mulig optimal plassering for å kunne telle flest mulig fisk. Det er ikke gjort analyser på om variasjon i plassering av UHI kan gi et mer eller mindre representativt grunnlag for registrering av lakselus. Det kunne derfor ikke avdekkes om man kan oppnå et bedre representativt utvalg ved å f.eks. flytte kameraet opp og ned i merden. Kvalitativt ble det funnet at kameraet registrerte mer underside av fisken hvis kameraet var rettet skrått oppover, og mer overside hvis den pekte skrått nedover, datagrunnlaget er imidlertid for lite for å kunne gjøre statistiske analyser på dette. Det kan derfor være nødvendig at kameraet tiltes for å kunne måle et representativt utvalg av fisk og av hele fiskekroppen.

4.2 Identifisering av lus og evaluering av UHI bilde kvalitet

For å først finne ut om UHI-kameraet kan identifisere lus ble en del stillbilder av laks gjennomgått. På noen av arealbildene kan man tydelig se kjønnsmodne hunnlus. Ved å se på UHI bildet fra samme tidspunkt kan man verifisere at lusa identifiseres også der. Figur 11 viser et arealbilde hvor ei kjønnsmoden hunnlus kan sees bak fettfinnen på den fremste

fisken. Denne lusa kunne gjenkjennes spektralt i UHI bildet (figur 12). Det klassifiserte området er merket med røde prikker.



Figur 11: RGB bilde av fisk. På bildet kan man se ei kjønnsmoden hunn lus bak fett-finnen på fisken midt i bildet. b) viser et forstørret utsnitt fra a).



Figur 12 RGB visualisering av UHI-bildet av samme fisk som i figur 11. De røde prikkene viser positiv klassifisering av lus.

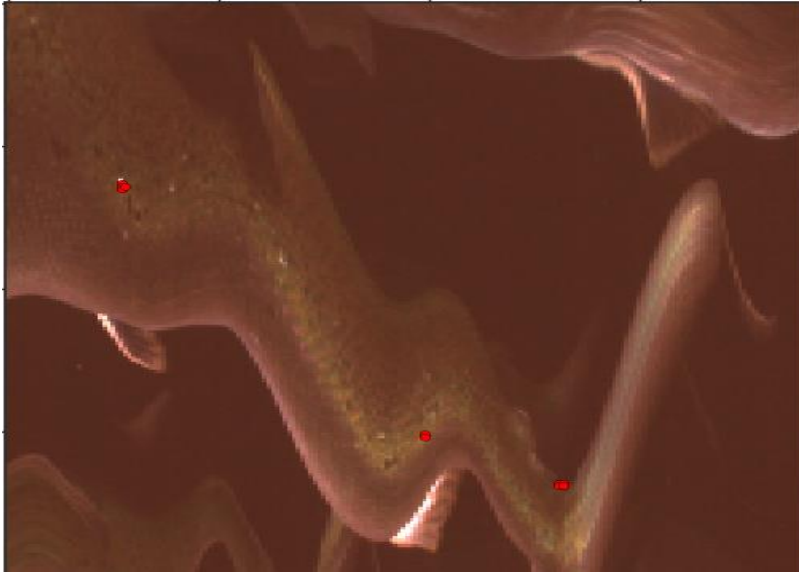
4.2.1 Automatisk identifisering av lus

Det ble også gjennomført en automatisk identifisering hvor UHI-bilder ble analysert uavhengig av informasjon fra arealbildet. Det ble da identifisert kjønnsmodne hunnlus, som ble verifisert på arealbildet i etterkant. Også andre lus, som ikke kunne sees tydelig på arealkameraet ble identifisert ved hjelp av den spektrale informasjonen i bildet. Eksempler på dette kan sees i figur 13 (arealbilde) og figur 14 (UHI-bilde). De røde prikkene til høyre i bildet er lus identifisert på ryggen av fisken, mens de to andre identifiserte områdene er på sidene av fisken, og sannsynligvis bevegelige lus. Et annet eksempel på automatisk identifisering av lus vises i figur 15 – 18.

Figur 15 og 16 illustrerer godt hvordan bilde av en fisk som spreller forbi kameraet blir seende ut på linjekamera. De viser også at metoden er uavhengig av opplevd estetisk bildekvalitet for å kunne klassifisere lus. Figur 17 er et eksempel hvor fisken svømmer mer rett fremover, og bildet oppleves derfor finere.



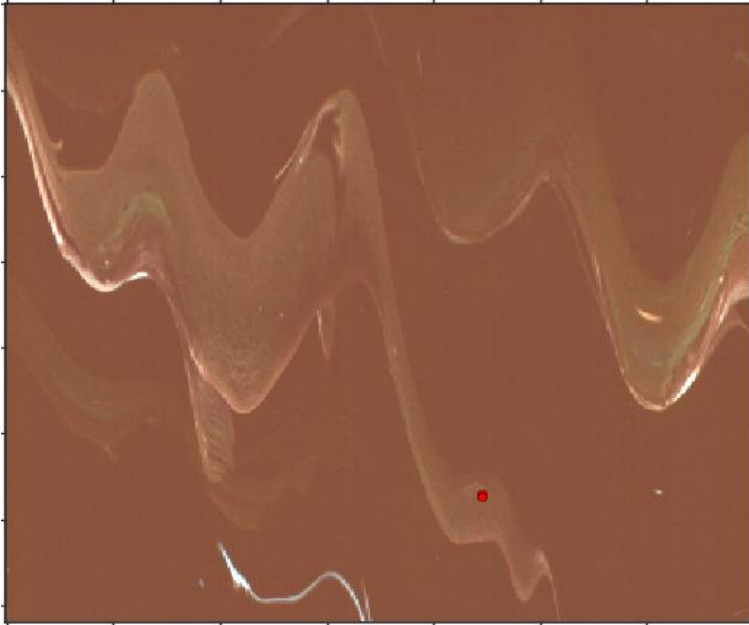
Figur 13: RGB bilde fra arealkamera. Kjønnsmoden hunnlus er synlig bak ryggfinnen.



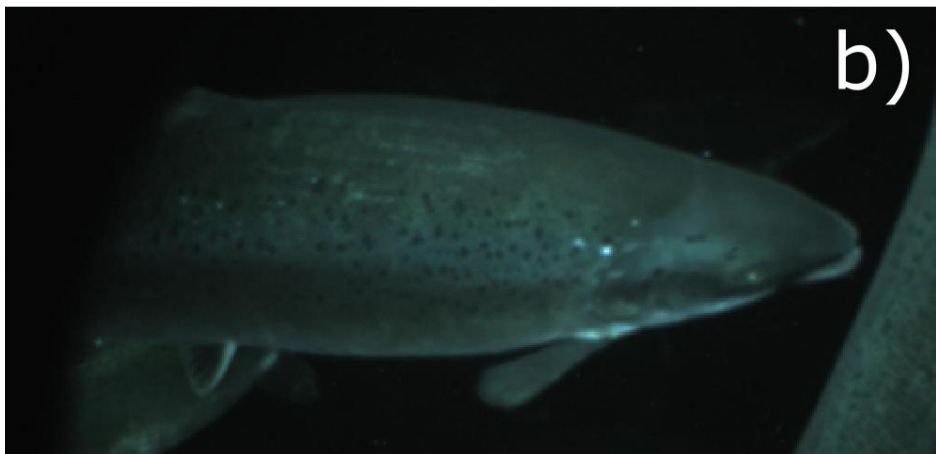
Figur 14: RGB visualisering av UHI bildet med merket piksler klassifisert som lus. Prikken til høyre er trolig lusa som er synlig i bildet i figur 13, mens de to andre prikkene er registrert som lus som ikke åpenbart kan sees på areal bildet.



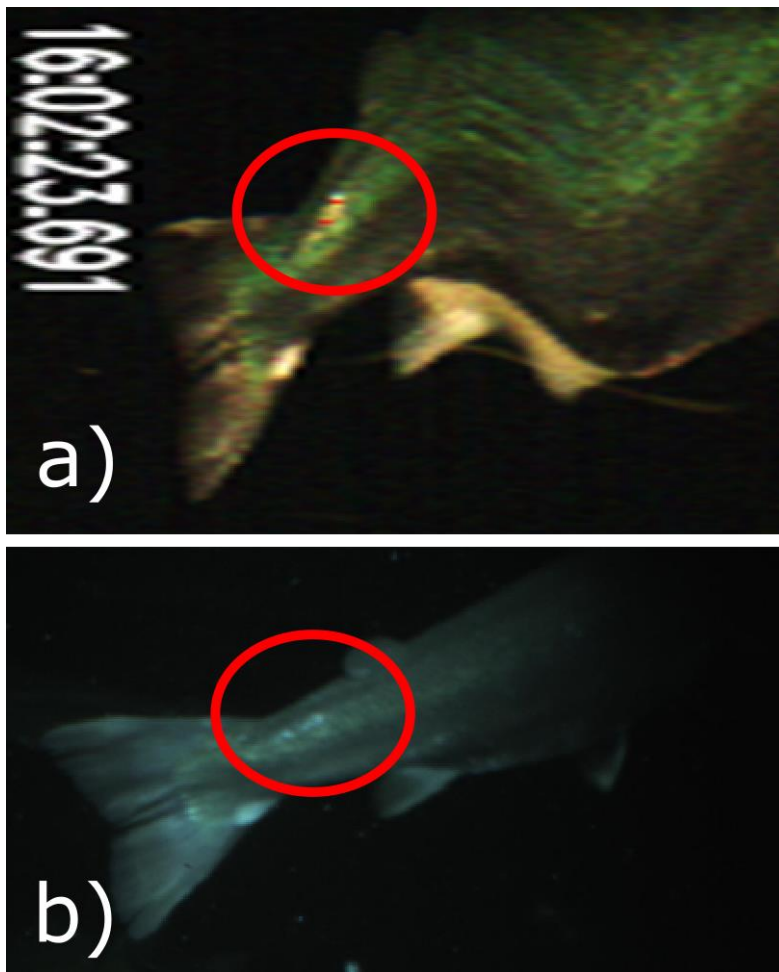
Figur 15: RGB bilde fra arealkamera. Fisken i bildet ble identifisert som lusebærer basert på UHI-klassifisering



Figur 16. RGB representasjon av UHI bildet av samme fisken som i figur 15. Den røde prikken i bildet viser piksler som er automatisk identifisert som lus.



Figur 17: a) RGB representasjon av UHI bilde av et eksempel på fisk med klassifisert lus (merket med røde prikker). b) RGB arealbilde på samme tidspunkt som UHI bildet.

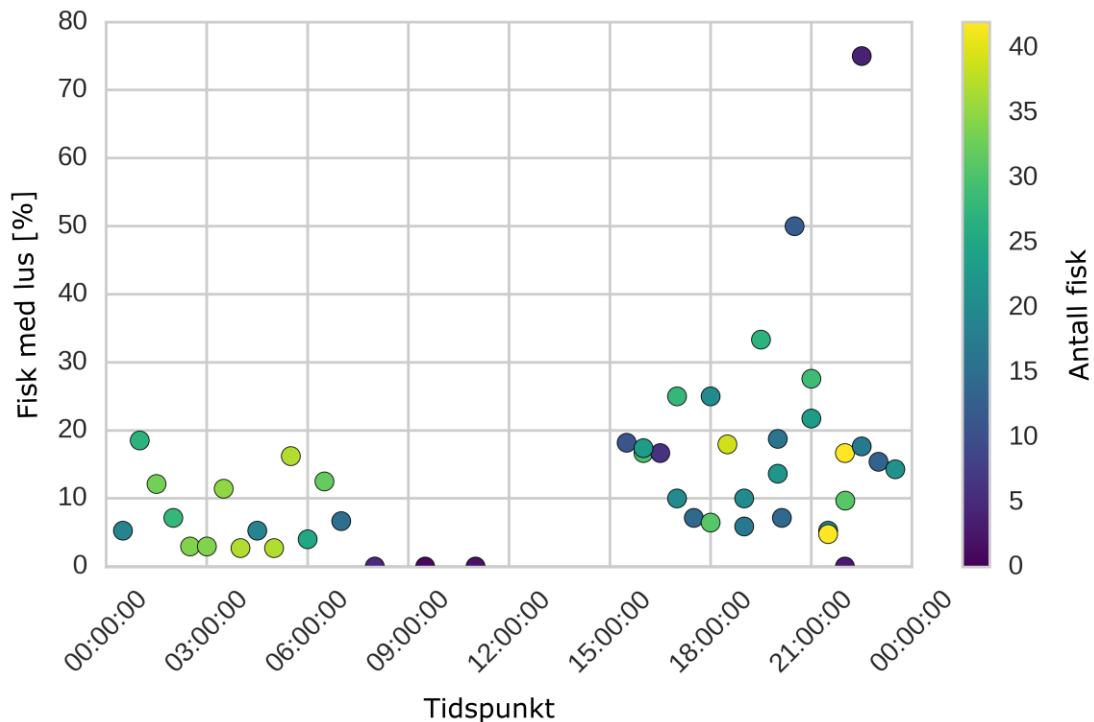


Figur 18: a) RGB-representasjon av UHI-bilde av et eksempel på en fisk med klassifiserte lus (merket med røde prikker). b) RGB arealbilde på samme tidspunkt som UHI-bildet.

Den automatiske analysen ble gjennomført på data fra forsøk 2, samt et mindre utvalg opptak fra forsøk 1, og viser at av totalt 1039 fisk, ble 136 fisk identifisert som lusebærere. Det ble brukt noen opptak fra forsøk 1 for å verifisere at den automatiske luseklassifiseringen fant igjen lus funnet i manuell gjennomgang. Dette indikerer at metoden finner lus på ca. 13% av fisken. UHI bildet viser bare en side av fisken, noe som tilsvarer godt under halvparten av den totale overflaten og derfor vil ikke tallene fra automatisk identifisering av lus kunne sammenlignes direkte med tellingene som er gjort av opplært personell. De offentlig innrapporterte lusetallene for den aktuelle merden i det aktuelle tidsrommet var 0.2 kjønnsmodne hunnlus, 0.55 bevegelige lus og 0 fastsittende lus. Det tilsvarer 0.75 lus per fisk uavhengig av lusetype. Dette var fordelt på 12 av 20 telte fisk, altså hadde 60% av denne fisken lus. Det er stor forskjell i datagrunnlaget for manuell telling (20 fisk) og automatisk telling (1039 fisk) som kan være en del av forklaringen til forskjellen i andel fisk registrert med lus. En annen mulig årsak kan være at man i disse opptakene best klarer å se kjønnsmodne hunnlus og dermed blir prosentandelen av fisk med lus mindre dersom en sammenligner med manuelle tellinger hvor bare 20% av fisken hadde kjønnsmoden hunnlus.

Figur 19 viser en oversikt over andel fisk identifisert som lusebærere målt på ulike deler av døgnet. Fargekoden på hvert punkt viser hvor mange fisk som er inkludert i datagrunnlaget på hvert tidspunkt, dersom få fisk er tatt med i tellingen vil usikkerheten

naturlig nok være større. De to punktene på 50% og 75% kan derfor regnes som uteliggere. Fra figuren kan man se at det registreres nesten ingen fisk med lus mellom 06.00-15.00 men i større omfang mellom klokken 00.00-06.00 og klokken 15.00-00.00. Det er en svak tendens til at det registreres flere fisk mellom 00.00-06.00 enn mellom 15.00-00.00. Samtidig er prosentandelen av fisk med lus som blir registrert mellom 15.00-00.00 høyere enn mellom 00.00-06.00. Dette kan være tilfeldig eller ha noe med lagdeling av fisk på forskjellige tidspunkt å gjøre dersom det hypotetisk sett er en andel/lagdeling av fisk basert på lusesmitte. For å være sikker på at et representativt utvalg av fisk blir avbildet må det i et eventuelt videre arbeid gjøres en nøye vurdering av plassering.



Figur 19. Oversikt over andel fisk identifisert som lusebærere målt på ulike deler av døgnet. Fargekoden viser hvor mange fisk som er inkludert i datagrunnlaget for hvert tidspunkt. Målingene er gjort over flere døgn, et tidspunkt kan derfor ha flere observasjoner.

4.2.2 Mulighet for klassifisering av lus i ulike stadier

Bildene og analysen over viser at metoden i seg selv ikke er begrenset av bildekvalitet for å kunne telle nok fisk for å få et godt statistisk grunnlag for lusesituasjonen i merden. Teknologisk er det et stort potensiale for å forbedre den romlige oppløsningen til de spektrale bildene for å kunne gjenkjenne også små lus. I de to foregående FHF prosjektene ble det gjort forsøk under kontrollerte betingelser som viste at UHI kan klassifisere bevegelige lus i gruppene kjønnsmodne hunnlus, kjønnsmodne hannlus og andre bevegelige lus med god presisjon. Det ble også vist klassifisering av fastsittende lus. Man kan enklere identifisere lus enn å skille mellom de ulike stadiene på grunn av at klassifiseringsmetoden som brukes for å skille de ulike stadiene er ekstra sensitiv til den optiske veilengden, altså avstand fra kamera til fisk. En korreksjonsalgoritme som kan beregne avstanden fra kamera til fisk og korrigere for det i hver enkelt piksel er nå under utvikling, og vil være nødvendig for å oppnå klassifisering av alle utviklingsstadier på

fritt svømmende fisk i merden. Kravet til nøyaktighet for korreksjonen er mindre dersom man i første omgang bare skal skille mellom kjønnsmodne hunnlus og andre bevegelige lus. For å utvikle metoden i retning av klassifisering av tidligere stadier av lus må den romlige oppløsningen til instrumentet forbedres videre. Dette kan gjøres på flere måter, eksempelvis annet valg av kamera eller spektrograf. Det vil alltid være en avveining mellom romlig og spektral oppløsning, som må gjennomgås før endelig versjon av kameraet foreligger. Dagens kamera er optimalisert med hensyn på havbunnskartlegging, men i hovedprosjektet er det planlagt å utvikle et eget kamerasystem spesifikt for telling av lakselus.

4.3 Praktisk gjennomføring

Som beskrevet i avsnitt 3.1 ble det gjort flere endringer på instrumentet underveis i prosjektperioden. De største endringene var mulighet for endring av synsvinkel, modifisert belysning og endring av optiske komponenter for å få bedre lysforhold.

Mulighet for å endre synsvinkel gjorde at man på bildene kunne se fiskens overflate fra ulike vinkler.

Ettersom forsøk 3 ble gjennomført i en annen merd enn de to første forsøkene kan det ikke konkluderes på om endring av lysoppsett fra at alle fire lampene stod på ei linje til kryss, påvirket adferden til fisken. Det observeres at i Forsøk 3 registrerer kameraet mange flere fisk, men dette kan like gjerne skyldes at fisken har ulik størrelse, eller at de to ulike populasjonene har naturlig ulik adferd. For å få svar på dette kan det gjøres dedikerte forsøk i samme merd, med kort mellomrom mellom forsøkene.

Alt i alt viste instrumentet seg å fungere tilfredsstillende i felttestene. For optimal og daglig bruk av UHI i merd bør det tilpasses et kamera og oppheng for bruk i merden for å minske vedlikehold, øke monteringsvennlighet og unngå skarpe kanter og at tau og kabler henger seg fast.

5 Konklusjon og fremtidsperspektiver

I dette prosjektet er det gjennomført feltforsøk med undervanns hyperspektral avbildning (UHI) for telling av lakselus på frittsvømmende laks i en merd. Det har blitt dokumentert at laksens bevegelser forbi UHI-linjekameraet ikke ødelegger muligheten for god avbildning av laks og lakselus.

I løpet av prosjektperioden har tre feltforsøk blitt gjennomført. De rapporterte resultatene kommer i hovedsak fra andre og tredje forsøk.

Instrumentet fungerte teknisk tilfredsstillende i merden. Operatører kunne logge seg inn på systemet for å fjernstyre, overvåke og kopiere data.

Det ble gjennomført en analyse av hvor mange avbildet fisk som kan gå inn i grunnlaget for en automatisk kvantifisering av lusenivået i merden. Dette ble først gjort manuelt på data fra andre feltforsøk ved å visuelt vurdere RGB-representasjonen av UHI bildene. Etterpå ble en automatisk analyse gjennomført på de samme bildene i tillegg til bildene fra tredje feltforsøk. Ved manuell vurdering av data ble det estimert at ca. 4249 fisk per døgn er kandidater for automatisk lusetelling. Den automatiske analysen av de samme dataene viste 6702 fisk per døgn. Den relativt store forskjellen kan skyldes at den manuelle telleren vil vurdere bilder hvor fisken har beveget seg mye foran linjekameraet som for dårlige for telling, mens den automatiske analysen kan fremdeles telle lus her. Fra 3. feltforsøk viste den automatiske analysen at ca. 10640 fisk per døgn er kandidater for automatisk lusetelling. De to forsøkene ble gjennomført i forskjellig merd, med fisk av ulik størrelse, noe som kan være årsaken til den store forskjellen i automatisk analyse mellom de to forsøkene.

Det ble også funnet at antall fisk som passerte UHI-en varierte mye gjennom døgnet. Dette kan skyldes at fisken oppholder seg på forskjellige steder i merden på ulike tidspunkt på grunn av lys, føring eller ulike lagdelinger. Det er ikke undersøkt hvorvidt dette har betydning for representativiteten til lusetellingen. Det anbefales å koble disse resultatene opp mot kunnskap om hvilken kameraplassering som gir best bilde av lusesituasjonen i merden. Det må evt også kobles opp mot kunnskap om lakseadferd i merd for å finne en optimal plassering av kameraet i merden.

Antallet fisk med lus ble estimert basert på en automatisk analyse. Det ble da funnet at av totalt 1039 analyserte fisk, ble 136 fisk identifisert som sannsynlige lusebærere. Dette betyr at metoden slik den er nå klarte å identifiserte lus på ca. 13% av bildene som er selektert som gode bilder av fisk. En todimensjonal projeksjon av fisken ser mindre enn halve arealet av fisken, slik at et estimat av hvilken andel av laksen som var lusebærere basert på metoden vil kanskje mer riktig kunne multipliseres med en faktor to og muligens enda høyere siden fisken også har en over og underside. Innrapporterte tall, basert på manuelle tellinger fra den aktuelle merden viste at 60% av laksen hadde lus. Forskjellen kan ha flere årsaker. Det statistiske grunnlaget er svært forskjellig, 1039 fisk fra den automatiske analysen mot 20 fisk i den manuelle tellingen og luseregistreringen. En annen forklaring kan være at den automatiske metoden ikke er godt nok utviklet til å registrere alle lus i bildet. Fra tidligere forsøk har man sett at UHI kan skille kjønnsmoden hunnlus fra de andre bevegelige lusestadiene, og det er mulig at det i den automatiske registreringen har blitt registrert mest lus av denne typen og ikke så mange av de andre bevegelige lusene. I tidligere prosjekter ble det, under kontrollerte forhold, demonstrert at det ved bruk av UHI er mulig å klassifisere lus i ulike utviklingsstadier. For å kunne

gjøre det samme på fritt svømmende fisk i merd må metoden utvikles til å være uavhengig av, eller kompensere for, avstanden fra kamera til fisk. For å kunne klassifisere de mindre utviklingsstadiene bør også instrumentet utvikles med høyere romlig oppløsning.

Nøyaktige og reelle tall for kjønnsmoden hunn lus er spesielt viktig for næringen da det er mengden av denne lusetyper som utgjør den absolutte grensen av hva som er lov å ha på en lokalitet. Ved å ha et stort nok datagrunnlag med gode bilder som bakgrunn for beregningen av antallet kjønnsmoden hunn lus per. fisk som finnes i et anlegg versus de 10 eller 20 fiskene som tas ut og telles ved manuelle tellinger, får en et bedre statistisk grunnlag for fastsettelse av lusesituasjonen. Ved manuell uttaking av rundt 20 fisk kan grunnlaget være så snevert og tilfeldig at en kan risikere å fange fisk med et unormalt høyt eller lite antall kjønnsmoden lus som ikke representerer det faktiske forholdet i resten av merden. Denne usikkerheten kan gjøres betydelig mindre med det større datagrunnlaget som en UHI med automatisk identifisering og telling kan legge til grunn. Dette er svært interessant sett i lys av studien til Aldrin et al. (2017), som viser at et større datagrunnlag og hyppigere registreringer kan redusere behandlingsbehovet.

Verdien av et system som kan bidra til at nøyaktige og korrekt tall på kjønnsmoden hunn lus i en aktuell merd er stor for oppdrettere da konsekvensene av en feilaktig høy andel kjønnsmodene hunn lus er stor. Det er også av stor verdi å få et system som kan indikere om det frem i tid kommer til å utvikle seg mange kjønnsmodene hunn lus - et tidlig varslings system. Med et tidlig varsel på at andelen fastsittende og bevegelige lus som enda ikke har utviklet seg til kjønnsmodne hunn lus er økende, kan ulike avlusningstiltak settes i verk før den absolutte grensen for voksne hunn lus pr. fisk er nådd. Et slikt tidlig varslings system er mulig dersom UHI systemet utvikles videre til å bli like god på å identifisere andre stadier av lusen som den kjønnsmodne hunn lusen. Ulike lusemidler og tiltak virker forskjellig på de ulike lusestadiene og det vil derfor være av stor verdi å kunne identifisere stadiet til lusa og dermed sette inn målrettede tiltak. Fra tidligere forsøk har det blitt vist at den spektrale signaturen til fastsittende, bevegelige lus og kjønnsmodne hann lus er forskjellige og dermed mulig å skille spektralt. Utfordringen har ligget i å kunne detektere lusen og spesielt den fastsittende lusen som liten og vanskelig å se med øynene. Jo mindre stadier av lus som blir mulig å detektere og identifisere, jo lengre tid har aktørene til å sette inn og planlegge målrettede tiltak.

Resultatene i dette prosjektet viser at UHI har et potensiale for lusetelling i merd. Det anbefales å jobbe videre med systemet for utvikling og mulig kommersialisering.

6 Litteratur

Aas LMS, Gawel B, Pettersen R, Tegdan J, Sæther K; Automatisk klassifisering og telling av lakselus med undervanns hyperspektral avbildning: Videreføring, Sluttrapport FHF prosjekt 901212 <http://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=901212>

Aldrin, M og Huseby RB (2017); Effekter av ulike strategier for bekjempelse av lakselus – basert på scenariosimulering fra en populasjonsmodell for lus på oppdrettsanlegg i et område. Sluttrapport Norsk Regnesentral, SAMBA/05/17. Delresultat fra FHF prosjekt 900970.

Bradski G (2000) Dr Dobbs Journal of Software Tools

<http://www.drdobbs.com/open-source/the-opencv-library/18440431>

Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. B. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon, and A. F. H. Goetz, 1993, "The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data." *Remote Sensing of Environment*, v. 44, p. 145 - 163.

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

Sæther K, Westgård A, Tegdan J, Aas LMSA; Klassifisering og telling av lakselus, Sluttrapport FHF prosjekt 901093
<http://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=901093>

7 Vedlegg

1. Brukerhåndbok for installasjon av UHI i oppdrettsmerd