

Ny teknologi for overvåking av oppdrettsmiljø og fiskevelferd i oppdrettsmerder

Sluttrapport for FHF-prosjekt 900085

Øyvind Aas-Hansen¹, Lars Helge Stien², Trygve Gytre², Torodd Tennøy³, Jan Eyolf Bjørnsen³, Tor H. Evensen¹, Bjørn Steinar Sæther¹, Børge Damsgård¹, Ragnar Brataas⁴, Dag Finne⁵, Christian Koren⁶, Jo Arve Alfredsen⁷, Audun H. Rikardsen^{8,9} og Tore S Kristiansen²





Nofima er et næringsrettet forskningskonsern som sammen med akvakultur-, fiskeri- og matnæringen bygger kunnskap og løsninger som gir merverdi. Virksomheten er organisert i fire forretningsområder; Marin, Mat, Ingrediens og Marked, og har om lag 470 ansatte. Konsernet har hovedkontor i Tromsø og virksomhet i Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra og Averøy.

Hovedkontor Tromsø
Muninbakken 9–13
Postboks 6122
NO-9291 Tromsø
Tlf.: 77 62 90 00
Faks: 77 62 91 00
E-post: nofima@nofima.no

Internett: www.nofima.no



Vi driver forskning, utvikling, nyskaping og kunnskapsoverføring for den nasjonale og internasjonale fiskeri- og havbruksnæringa. Kjerneområdene er avl og genetikk, fôr og ernæring, fiskehelse, bærekraftig og effektiv produksjon samt fangst, slakting og primærprosessering.

Nofima Marin AS
Nofima Marin
Muninbakken 9–13
Postboks 6122
NO-9291 Tromsø
Tlf.: 77 62 90 00
Faks: 77 62 91 00
E-post: marin@nofima.no

Internett: www.nofima.no

Rapport

ISBN: 978-82-7251-742-6 (trykt) ISBN: 978-82-7251-743-3 (pdf)	Rapportnr.: 3/2010	Tilgjengelighet: Åpen
--	-----------------------	---------------------------------

<p><i>Tittel:</i> Ny teknologi for overvåking av oppdrettsmiljø og fiskevelferd i oppdrettsmerder Sluttrapport for FHF prosjekt 900085</p>		<p><i>Dato:</i> 15.2.2010</p>
<p><i>Forfatter(e):</i> Øyvind Aas-Hansen¹, Lars Helge Stien², Trygve Gytre², Torodd Tennøy³, Jan Eyolf Bjørnsen³, Tor H. Evensen¹, Bjørn Steinar Sæther¹, Børge Damsgård¹, Ragnar Brataas⁴, Dag Finne⁵, Christian Koren⁶, Jo Arve Alfredsen⁷, Audun H. Rikardsen⁸ og Tore S Kristiansen²</p>		<p><i>Prosjektnr.:</i> 20662</p>
<p><i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond</p>		<p><i>Oppdragsgivers ref.:</i> FHF nr 900085</p>
<p><i>Tre stikkord:</i> Fiskevelferd, SmartTag, Velferdsmeter</p>		
<p><i>Sammendrag: (maks 200 ord)</i> Det er kjent at oppdrettsfisk som trives er god butikk, da de vil vokse fortere, være mindre utsatt for sykdom og gi bedre produktkvalitet. Samtidig stiller markedene økende krav til etisk produksjon, inklusiv dokumentasjon på at oppdrettsfiskene har det bra. Dessverre mangler vi gode løsninger for å overvåke fiskens velferd i oppdrett. Hensikten med dette prosjektet var å utvikle ny teknologi for overvåking og dokumentasjon av fiskevelferd i oppdrettsmerder. Prosjektet innebærer en videreutvikling av to komplementære teknologiløsninger: Den ene løsningen (Velferdsmeteret) innebærer måling av en rekke parametre i vannmiljøet som så kommuniseres mot et ekspert- og databasesystem. Målingene og resultatene fra ekspertanalysen vises på en nettside som forteller oppdretterne hvor gode betingelser oppdrettsfiskene har. Den andre tilnærmingen (SmartTag-systemet) innebærer at et utvalg fisk i merden utstyres med et elektronisk merke som forteller oppdretteren hvorvidt fiskene puster normalt eller om de er stresset. Prosjektresultatene inkluderer en miniatyrisering og digitalisering av SmartTag-systemet og en utvikling av en flytende målestasjon for Velferdsmeter-systemet. Gjennom denne teknologiutviklingen er Havforskningsinstituttets Velferdsmeter-system for måling og analyse av merdmiljø og NOFIMAs SmartTag-system for å måle velferd og stress hos frittsvømmende enkeltfisk videreutviklet, slik at de nå er klare for innledende uttesting som et totalsystem for overvåking og dokumentasjon av oppdrettsmiljø og fiskevelferd i et kommersielt oppdrettsanlegg. Denne uttestingen samt videre grunnleggende forskningsarbeid vil følges opp i det NFR- og FHF-finansierte prosjektet WELFARE TOOLS (NFR # 190475/S40) i løpet av 2010.</p>		
<p><i>English summary: (maks 100 ord)</i> The aim of this project was to develop new technology for monitoring fish welfare in commercial sea cages. The project has advanced the technological development of two complementary systems: The Welfaremeter-system, developed by Institute of Marine Research, involves monitoring environmental parameters with on-line communication to a web-based fish welfare database for processing and analyses. The SmartTag-system, developed by Nofima marine and Thelma Biotel AS, involves using acoustic telemetry for measuring respiration in free-swimming fish as an indicator of welfare and stress. Next step is testing the integrated use of these systems in a commercial Atlantic salmon sea farm in 2010.</p>		

Forfattertilknytning: ¹⁾Nofima Marin (Tromsø), ²⁾Havforskningsinstituttet (IMR, Bergen),
³⁾Thelma Biotel AS (Trondheim), ⁴⁾TTO Nord AS (Tromsø), ⁵⁾Bergen Teknologioverføring AS
(BTO, Bergen), ⁶⁾Fiskehelseveterinær (Tromsø), ⁷⁾Norges Teknisk Naturvitenskaplige
Universitet (NTNU, Trondheim), ⁸⁾Norsk Institutt for Naturforskning (NINA, Tromsø),
⁹⁾Universitetet i Tromsø (UiT, Tromsø).

Forord

Det er kjent at fisk som trives vil vokse fortere, være mindre utsatt for sykdom og gi bedre produktkvalitet. Samtidig er det slik at markedene stiller økende krav til etisk produksjon, hvilket inkluderer dokumentasjon på at oppdrettsfiskene har det bra. I tråd med dette var hensikten med dette prosjektet å utvikle ny teknologi for overvåkning og dokumentasjon av fiskenes velferd i oppdrettsmerder. Prosjektet er initiert av FHF, som så potensialet i en sammenslåing av to foreslåtte prosjekt med fundamentalt forskjellige men svært komplementære tilnærminger til denne problemstillingen. Den ene tilnærmingen er utviklet av Havforskningsinstituttet og består av å måle en rekke parametre i oppdrettsfiskenes vannmiljø, som så kommuniseres mot en ekspertdatabase og en nettside som vil fortelle oppdretterne hvor gode betingelser oppdrettsfiskene har (Velferdsmetersystemet). Den andre tilnærmingen er utviklet av Nofima Marin og innebærer at et utvalg fisk i merden er utstyrt med et elektronisk merke som måler og forteller oppdretteren hvorvidt disse fiskene puster normalt, eller om de er stresset som følge av sykdomsutbrudd, dårlig vannkvalitet eller annet (SmartTag-systemet). Prosjektet er hovedfinansiert av FHF (FHF prosjektnr 900085), men har delfinansiering (direkte og/eller i form av egeninnsats) fra Havforskningsinstituttet, Nord-Trøndelag Fylkeskommune, Bjørøya Fiskeoppdrett, Nofima marin, marin konsulent Per Andersen og utstyrsleverandørene SAIV AS, STM-maskinering AS, Argus Remote Systems AS, Thelma Biotel AS og Morten Hammersland Programvare. I tillegg til disse har teknologioverføringsbedriftene TTO Nord AS og BTO AS aktivt bidratt med egeninnsats for å vurdere kommersialiseringspotensialet av de teknologiske løsningene. Det ble imidlertid tidlig klart at gjeldende finansiering ikke var tilstrekkelig til å gjennomføre de planlagte forskningsoppgavene i den opprinnelige prosjektbeskrivelsen. I henhold til revidert budsjett og prosjektbeskrivelse av 15. desember 2008 ble det derfor bestemt at dette prosjektet skulle fokusere på selve teknologiutviklingen, mens størstedelen av forskningsoppgavene inklusive utprøvingen i full skala i kommersielle lakseanlegg ville forutsette ytterligere finansiering. Slik ytterligere finansiering ble innvilget fra NFR og FHF for perioden januar 2009 - desember 2010 (Welfare Tools-prosjektet, NFR prosjektnr 190475/S40, ledes av Havforskningsinstituttet ved seniorforsker Tore S. Kristiansen). Det er i så måte viktig å merke seg at denne sluttrapporten omhandler FHF prosjekt 900085 (i.e. hovedsaklig den innledende teknologiutviklingen), da resultatene fra NFR prosjektnr 190475/S40 vil presenteres i en egen sluttrapport på et senere tidspunkt.

Vi vil rette en stor takk til oppdragsgiver FHF og alle delfinansierer og samarbeidspartnere, inklusive prosjektets styringsgruppe som har bestått av marinkonsulent Per Andersen (leder), Per Anton Løfsnes (Bjørøya Fiskeoppdrett AS), Jan Eyolf Bjørnsen / Torodd Tennøy (Thelma Biotel AS), Bård Sagstad (SAIV AS) og Kjell Maroni (FHF).

Tromsø, 15. februar 2010

Øyvind Aas-Hansen (Prosjektleder)

Innhold

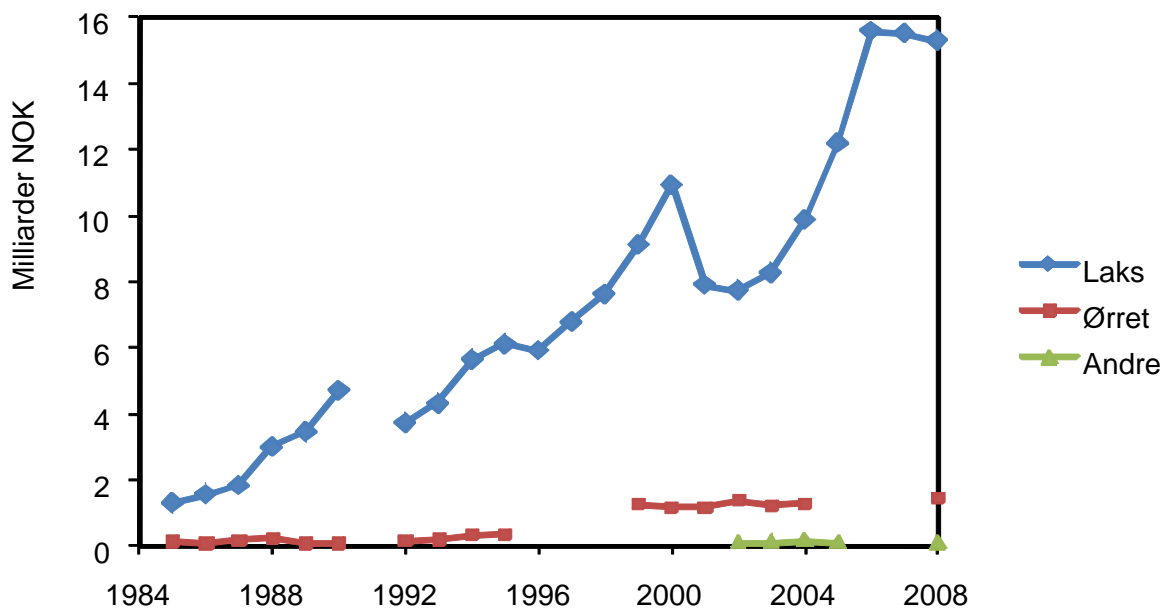
1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	To komplementære målesystemer: SmartTag og Velferdsmeteret	2
1.2.1	Velferdsmeter-prototyp-systemet	2
1.2.2	SmartTag-systemet	5
1.2.3	Samkjøring av teknologiene	6
1.3	Prosjektets målsetninger.....	8
1.3.1	Hovedmål	8
1.3.2	Delmål	9
2	Materiale og metode.....	10
2.1	Delprosjekt 1: Teknologiutvikling av Velferdsmeter-systemet.....	10
2.2	Delprosjekt 2: Teknologiutvikling av SmartTag-systemet	11
2.3	Delprosjekt 3: Samkjøring av teknologiene	12
2.4	Vurdering av kommersialiseringspotensialet.....	14
3	Resultater og diskusjon.....	15
3.1	Delprosjekt 1: Videreutvikling av Velferdsmeter-prototyp-systemet.....	15
3.1.1	Utvikle og konstruere 1 stk. velferdsmeterflåte.....	15
3.1.2	Utvikling av referansesonde.	20
3.1.3	Utvikle database- og ekspertsystem for automatisk innhenting og analyse av data fra de to overnevnte målesystem.....	22
3.1.4	Utvikle internettapplikasjons for presentasjon av måledata og analyse, samt mulighet for manuell innlegging av tilleggsdata som antall fisk, fiskestørrelse, føring, fiskeatferd, dødelighet og sykdom.....	23
3.2	Delprosjekt 2: SmartTag-systemet.....	24
3.2.1	Teknologisk utvikling av digitalisert SmartTag-system	25
3.2.2	Utpøring av STd på laks i kar og små merder	30
3.3	Delprosjekt 3: Samkjøring av teknologiene	34
3.4	Kommersialiseringspotensiale	35
4	Oppsummering og konklusjoner	37
4.1	Velferdsometersystemet	37
4.2	SmartTag-systemet.....	37
4.3	Integrert totalsystem.....	38
4.4	Kommersialiseringspotensiale	38
4.5	Konklusjon.....	38
4.6	Perspektiver	38

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Norsk fiskeoppdrett er en suksesshistorie med en årlig eksportverdi som nå har vokst til over 15 mrd kroner. En av hovedårsakene til denne suksessen er vår lange kyststripe med et utall skjermede lokaliteter med god vannkvalitet som passer godt for merdbasert oppdrett. Den største ulempen med merdbasert oppdrett er at man har liten mulighet til å kontrollere merdmiljøet, og man er derfor sårbar for periodiske tilfeller av dårlig vannmiljø, tilstrømming av patogener, skadelige organismer og tekniske sammenbrudd ved alvorlig uvær; alle faktorer som forårsaker stress og redusert velferd hos oppdrettsfisk.

Til tross for mange års erfaring med lakseoppdrett i Norge, har vi relativt lite detaljert kunnskap om hvordan miljøforholdene varierer i merdene og hvordan fisken takler disse miljøendringene. Hvordan påvirker dette fiskens vekst og metabolisme? Blir den stresset? Reduseres appetitten? Blir immunforsvaret svekket? Unnviker den områder med dårlig oksygeninnivå? Når er velferden uakseptabel? Med en utvikling mot stadig større produksjonsmerder, økt rasjonalisering og økt forekomst av off-shore og nedsenkbare merdsystemer kan behovet for automatiserte styrings- og overvåkingsystemer for å monitorere, dokumentere og varsle oppdretterne om fiskenes velferd forventes å øke i fremtiden.



Figur 1 *Norsk fiskeoppdrett er en stor suksesshistorie der årlig eksportverdi nå har vokst til over 15 mrd kroner (Statistisk sentralbyrå, 2009). I tråd med veksten følger det et økende behov for ny teknologi for å overvåke og dokumentere hvordan fiskene har det i merdene.*

I tillegg til fôret, er temperatur og oksygen de viktigste ressursene for fisken. Med suboptimale miljøforhold vil en også få suboptimale produksjonsresultat. Raske miljøendringer fører til stress, som er en naturlig fysiologisk respons for at fisken skal mobilisere fysiologiske og kognitive ressurser for å takle endringene. Stress er derfor en katabolsk prosess (det motsatte av vekst) for å sikre kortsiktig overlevelse, og som kan gå på bekostning av langsiktig vekst og helse.

En av grunnene til lite overvåking av fiskevelferd i oppdrettsanleggene er manglende kunnskap om hvilken sammenheng det er mellom fiskens vannmiljø og fiskens fysiologi, toleransegrenser, stressresponser, trivsel og vekst. Vi kan i dag måle mange relevante vannmiljøparametere, men mye av måleteknologien som tilbys i dag er lite brukervennlig for oppdretterne. Dessuten vet man for lite om hvordan man skal tolke de store datamengdene med hensyn på hva disse betyr for fisken, samt hvilke kortsiktige og langsiktige beslutninger som må tas i de ulike situasjonene ved anleggene.

Slik status er i dag, er det aller først behov å gjennomføre grundige undersøkelser for å finne sammenhenger mellom miljødata og fiskens velferd. For å etablere slik kunnskap er det nødvendig å utvikle hensiktsmessig måleverktøy som registrerer både miljødata og fiskedata. I første omgang må det derfor utvikles målesystemer som vil være et viktig verktøy for forskerne. På sikt må de utviklede måle- og analysesystemene utvikles for bruk i kommersiell oppdrett. Ved å koble sammen flere utplasserte målesystemer til en sentral database, åpnes muligheten for å sammenholde fiskevelferdsdata fra flere lokaliteter. Dette kan gi ytterligere informasjon for å finne optimale fiskevelferds- og driftsforhold for landets oppdrettsanlegg. I framtida vil det bli stilt større krav fra tilsynsmyndigheter og kjøpere til overvåking og dokumentasjon av fiskevelferd, og nye teknologisystemer vil i denne sammenheng være nyttige informasjonsgivere.

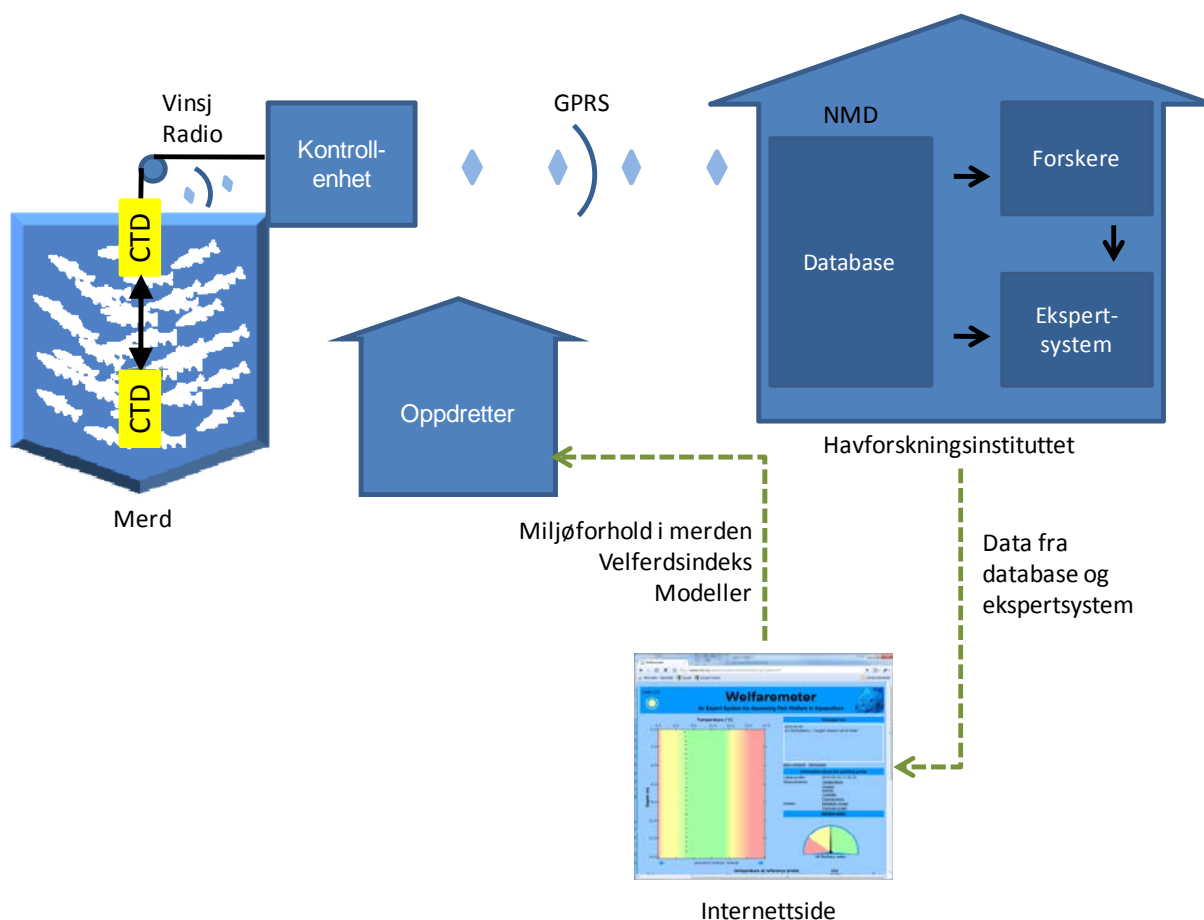
1.2 To komplementære målesystemer: SmartTag og Velferdsmeteret

De siste årene har en ved Nofima Marin og Havforskningsinstituttet (IMR) arbeidet mye med disse problemstillingene og startet utviklingen av teknologisystemer for overvåking av miljø og fiskevelferd i merdene. Ved IMR har man utviklet det såkalte Velferdsmetersystemet som måler miljøparametre og vurderer fiskenes tilstand indirekte ut fra kjent kunnskap om fiskenes fysiologi og toleransegrenser. Ved Nofima marin har man utviklet det såkalte SmartTag-systemet som innebærer at et utvalg fisk i merden, såkalte kanarifisk, utstyres med et elektronisk merke som forteller oppdretteren hvorvidt fiskene puster normalt eller om de er stresset. Dette utgjør således to komplementære systemer der det ene gir detaljert informasjon om endringer i viktige parametre i oppdrettsfiskenes ytre miljø, mens det andre forteller om disse endringene faktisk påvirker fiskenes fysiologi og stressnivå.

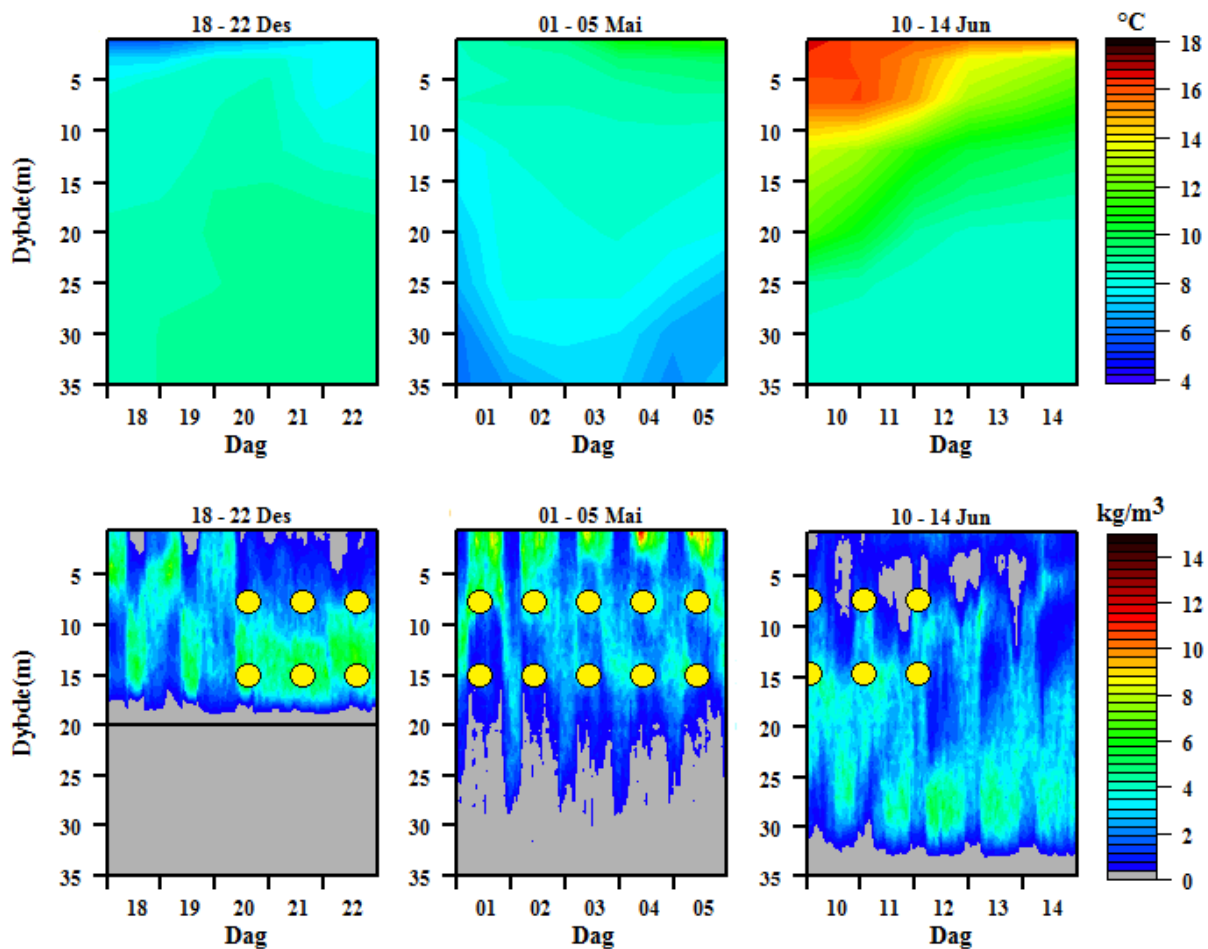
1.2.1 Velferdsmeter-prototyp-systemet

Velferdsmeteret-prototyp-systemet er et nyutviklet måle og analysesystem, hvor en målesonde senkes regelmessig fra overflate til bunn av merden og data sendes fortløpende til en sentral database for analyse. Utviklingen av dette systemet ble gjort som en del av det

EU finansierte prosjektet FASTFISH (prosjektnr 022720) og i tillegg støttet av BTO. Hver gang målesystemet kommer til overflaten etter en måleserie sendes måledataene til en database ved Norsk Marint Datasenter (NMD) via mobilnettet. Når nye data ankommer databasen fortolkes disse ut fra økofysiologiske modeller og resultatene legges ut på en nettside (www.imr.no/welfaremeter), hvor også tidligere målinger og analyser er tilgjengelig for inspeksjon. Velferdsmeteret-prototyp-systemet gir høyoppløst informasjon om temperatur-, oksygen-, saltholdighet, planteplankton- og partikkelforholdene i merden, samt modeller av metabolsk kapasitet til fisken og klassifisering av fiskevelferd under de rådende miljøforhold. Prototypen har vært testet i et kommersielt lakseoppdrett på Austevoll siden oktober 2007.



Figur 2 Velfersmeter-prototyp-systemet. Havforskningsinstituttet har i samarbeid Tendo Tech AS, SAIV AS og Morten Hammersland programvare utviklet en prototyp på et system som gir en profil av miljøforholdene i en merd, fortolker dataene på en vitenskapelig måte og presenterer dem lett forståelig for brukerne på en internettside (www.imr.no/welfaremeter). Den profilerende målesonden er en standard CTD (SD204, SAIV AS) som måler saltholdighet, temperatur og dyp. I tillegg til dette er det også festet sensorer for oksygen, turbiditet og fluorescens på målesonden. Målesonden dras opp og ned i merden av en vinsj plassert på kontrollenheten ved merdkanten, og sender data til kontrollenheten via radio. Kontrollenheten inneholder også en GSM-terminal som sender dataene videre som en GPRS-melding til en database på Norsk marint datasenter (NMD). Når nye data ankommer databasen blir de analysert av ekspertprogramvare som gir en evaluering av miljøforholdene som enten gode, mindre gode eller potensielt skadelige for fisken. I tillegg til en konkret vurdering av miljøet, modellerer ekspertprogrammet fiskens potensial til vekst (metabolsk margin) og robusthet overfor stress (relativ metabolsk margin) under de rådende miljøforhold. Disse to målene skal hjelpe oppdretteren å avgjøre hvor mye fisken bør føres og hvor vidt det kan iverksettes operasjoner på anlegget som kan virke stressende på fisken (f.eks. trenging i forbindelse med avlusing). Målingsdataene og resultatene fra ekspertprogrammet legges direkte ut på internettsiden.



Figur 3 Eksempler på temperaturprofiler av forholdene i en merd og ekkoloddata som viser hvordan fisken forholder seg til temperaturforholdene. De gule sirklene indikerer at det er undervannsløys på i merden ved disse dypene. Undervannsløys kan under noen forhold brukes til å styre hvilket dyp fisken står på. I desember var merdnoten ca 20 m dyp, mens den i mai og juni var ca 35 m dyp.

1.2.2 SmartTag-systemet

Ved Nofima marin har man som del av det EU-finansierte forskningsprosjektet SEAFOODplus (www.seafoodplus.org) og i samarbeid med underleverandør Thelma Biotel AS (www.thelmabiotel.no) utviklet et telemetrisk målesystem kalt SmartTag-systemet. Systemet bygger på at et utvalg fisk i merden, såkalte kanarifisk, utstyres med et elektronsik merke (SmartTag) som måler disse fiskenes pustemønster, og sender denne informasjonen trådløst til et PC-basert mottakersystem. Merket festes på utsiden av fisken og en tynn væskefylt slange føres fra merket bort til munnhulen. På denne måten registreres trykkforskjellene mellom fiskens munnhule og omgivelsene og man får detaljerte data på fiskenes pustemønster inklusive pustefrekvens, amplitude og integral. Nofima har gjennomført en rekke forsøk hovedsaklig med torsk som viser at fiskens pustemønster er

påvirket av miljøendringer og forteller oss i hvilken grad fiskene er stresset. Dette gir oppdretteren mulighet for å gjennomføre ytterligere undersøkelser om årsakene til fiskestresset og å gjennomføre nødvendige tiltak for å løse det oppståtte problem, for eksempel flytte fiskene eller merden, boble inn luft, øke vannstrøm med strømsettere, bytte nøter, medikamentell behandling, eller slakte ut før det oppstår sykdom eller dødelighet. I tillegg til registrering av pustemønster kan merket også programmeres til å registrere de raske trykkendringene som skjer hver gang fisken snapper etter mat. Dette kan gi nyttig informasjon om fiskens fôrintak, og teknologien for dette utvikles i samarbeid med NTNU, Institutt for Teknisk Kybernetikk (NFR-prosjekt nr 165197/S40; FEEDTAG). I tillegg til dette har Thelma Biotel AS også utviklet akustiske fiskemerker som gir detaljert informasjon om hvilken dybde de enkelte fiskene befinner seg i.

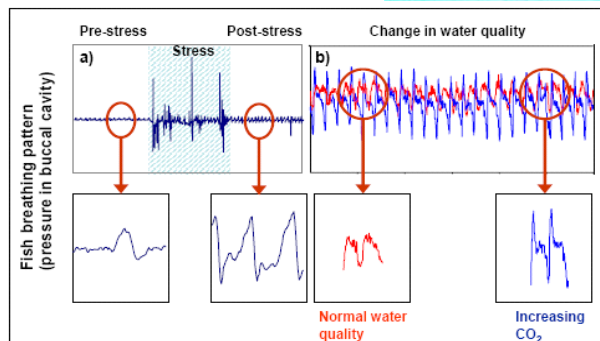
What is SmartTag?



The SmartTag provides online measurements of breathing pattern in free-swimming fish



- Monitor and document fish welfare status in aquaculture
- Early warning system
- Optimize production regimes
- Assess feed intake rates



Figur 4 SmartTag-systemet måler pustemønster som indikator på velferd og stress hos et utvalg frittsvømmende SmartTag-merkede fisk, såkalte kanarifisk, i en merd eller tank.

1.2.3 Samkjøring av teknologiene

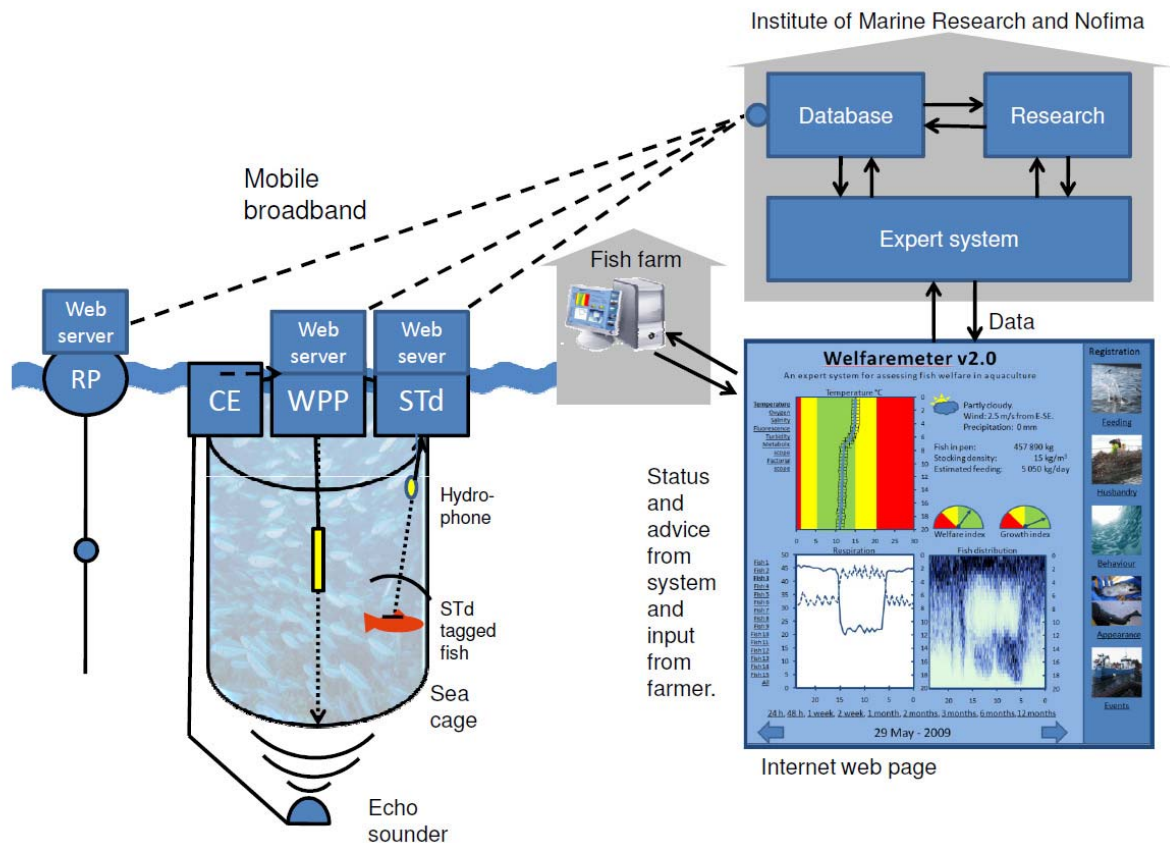
I sammenheng med overvåking av fiskevelferd vil Velferdsmetersystemet og SmartTag-systemet utfylle hverandre bruksmessig:

- Velferdsmeter-prototyp-systemet gir en detaljert beskrivelse av merdmiljøet og beregner modeller for fiskens metabolisme og velferd under de gjeldende miljøforhold.
- SmartTag-systemet gir kontinuerlig informasjon om pustemønster som indikator på velferd og stress hos et utvalg indikatorfisk (kanarifisk).

Gjennom å kombinere disse to systemene vil en få et måle- og analysesystem som a) gjennomfører automatiske registreringer av endringer i merdmiljøet, b) gjennomfører automatiske registreringer av endringer hos utvalgte indikatorfisk og c) integrerer og bearbeider informasjonen fra a) og b) og beregner modeller for fiskenes metabolisme og velferd under de gjeldene forhold (Fig. 5).

Det integrerte systemet vil således utgjøre et verktøy for:

- 1) Monitorering og dokumentasjon av fiskenes velferd
- 2) Varslingssystem ved alarmerende forhold
- 3) Styringssystem for produksjonsoptimalisering



Figur 5 Illustrasjon av integrert teknologisk løsning (totalt Velferdsmetersystem) for overvåking av miljøforhold og fiskevelferd i oppdrettsmerder. RP = Reference probe (referanse-sonde), CE = cage-eye (merdøye), WPP = Welfaremeter Profiling Probe (Velferdsmeter-profilerende-sonde), STd = SmartTag digital (digitalisert SmartTag). Merk at inkludering av ekkolodd ("Cage-eye" funksjonen) vil bli gjort som en del av et annet prosjekt (WelfareTools, NFR prosjektnr 190475/S40).

1.3 Prosjektets målsetninger

1.3.1 Hovedmål

Dette prosjektet bygger på en visjon om et fremtidig totalt Velferdsmetersystem for registrering og analyse av fiskevelferd i oppdrettsmerder. Prosjektet har to overordnede mål:

1. Å utvikle hensiktsmessige måleverktøy for å studere og skaffe kunnskap om sammenheng mellom miljødata og fiskevelferd.
2. Å utvikle et totalsystem for overvåking og dokumentasjon av oppdrettsmiljø og fiskevelferd i kommersielle oppdrettsanlegg i Norge og utlandet.

1.3.2 Delmål

For å oppfylle disse to overordnede målene har vi definert følgende delmål:

Delprosjekt 1:

- Utvikle og konstruere 1 stk. Velferdsmeterflåte
- Utvikle og konstruere 1 stk. referansesonde
- Tilrettelegge for automatisk/manuell innlegging av opplysninger om antall fisk, fiskestørrelse, føring, fiskeatferd, dødelighet, sykdom via internettapplikasjon

Delprosjekt 2:

- Utvikle miniaturisert og digitalisert utgave av SmartTag-systemet, tilpasset laks
- Utprøving av SmartTag på laks i kar

Delprosjekt 3:

- Samkjøring av målesystem i et totalt Velferdsmetersystem
- Innledende undersøkelser med samholdte miljø- og fiskedata

Dette prosjektet fokuserer således på videreutvikling av det profilerende sondesystemet og utvikling av en referansesonde for miljøovervåking utenfor merd til Velferdsmeter-systemet, miniaturisering og digitalisering av SmartTag-systemet og tilpasning av dette for bruk på laks, samt integrering og uttesting av disse systemene i et Velferdsmeter-totalsystem.

2 Materiale og metode

Dette prosjektet var inndelt i tre delprosjekter: Delprosjekt 1 som innebar en teknologisk videreutvikling av Velferdsmetersystemet, Delprosjekt 2 som i hovedsak innebar en teknologisk videreutvikling av SmartTag systemet, og Delprosjekt 3 som bestod i å samkjøre og utprøve disse to teknologiske systemene. I tillegg til disse tre delprosjektene ble det også gjort en vurdering av kommersialiserings-potensialet til de ulike teknologiske løsningene.

2.1 Delprosjekt 1: Teknologit utvikling av Velferdsmeter-systemet

Kort oppsummert skal følgende oppgaver utføres:

1. Utvikle og konstruere 1 stk. velferdsmeterflåte.
2. Utvikle og konstruere 1 stk. referansesonde.
3. Utvikle database- og ekspertsystem for automatisk innhenting analyse og av data fra de to overnevnte målesystem.
4. Utvikle internettapplikasjon for presentasjon av måledata og analyse, samt mulighet for manuell innlegging av tilleggsdata som antall fisk, fiskestørrelse, føring, fiskeatferd, dødelighet og sykdom.

Begge målesystemene (punkt a og b) skal bygge på SAV AS sin CDT og SAIV AS sitt nye webserver-GSM-system.

Referansesonen vil være en CTD med tilleggsapparat for måling av oksygen og strøm. Fra CTD'en vil det gå en datakabel til en kontroll- og kommunikasjonsenhet. Kontroll og kommunikasjonsenheten skal inneholde en webserver og en GSM-ruter. Webserveren vil bli kontinuerlig oppdatert med data fra CTD'en og disse dataene vil bli gjort tilgjengelig på en nettside på webserveren. Det skal også være mulig å gi kommandoer til websystemet via TCP/IP. Database- og ekspertsystemet (punkt c) vil hente data fra webserveren. Referansesonde er tenkt plassert på forflåten. På denne måten får den tilgang til elektrisitet, samt at den blir enkel og vedlikeholde for mannskapet på anlegget. Kontroll- og kommunikasjonsenheten med strømforsyning bør minst tilfredsstillende vannbestandighetskrav IP 66.

Velferdsmeterflåten vil bli bygget av polyethylene. Dette er samme materiale som blir brukt i ringmerder. Flåten skal ha en pyramideform hvor kontroll- og kommunikasjonsenheten vil være plassert i basen mens CTD'en, mellom måleserier, vil henge fra en trinse i toppen av pyramiden. Dimensjonen til pyramiden vil være i størrelsesorden 1,5x1,5x1,7m. Flåten skal ha mest mulig avrundete former for å hindre skade på fisk, merd og annet materiell. Kontroll og kommunikasjonsenheten vil bygge på samme prinsipp som beskrevet over for referansesonden, men vil i tillegg inneholde toveis radio for kommunikasjon med CTD'en, og programvare for å styre vinsjen. Ved endt profilering hentes data fra CTD via radio. Velferdsmeterflåten bør minst tilfredsstillende vannbestandighetskrav IP 66.

Det vil bli utviklet programvare for automatisk nedlasting av data fra webserverne til referansesonden og Velferdsmeterflåten. Denne programvaren vil bli kjørt som en crontab-jobb i Linux og vil hente data fra webserverne og deretter laste de inn i en PostgreSQL-database. Når nye data ankommer databasen, blir de analysert av ekspertprogramvare som gir en evaluering av miljøforholdene som enten gode, mindre gode eller potensielt skadelige for fisken. Ekspertprogrammet beregner også en velferdsindeks fra 0 (katastrofalt) til 100 (perfekt). I tillegg til en konkret vurdering av miljøet, modellerer ekspertprogrammet fiskens potensial til vekst (metabolsk margin) og robusthet overfor stress (relativ metabolsk margin) under de rådende miljøforhold. Disse to målene skal hjelpe oppdretteren å avgjøre hvor mye fisken bør fores og hvorvidt det kan iverksettes operasjoner på anlegget som kan virke stressende på fisken (f.eks. trenging i forbindelse med avlusning).

Rådataene fra målesystemene vil som nevnt over være tilgjengelig via webserverne til de respektive kontroll- og kommunikasjonsenhetene. I tillegg vil det utvikles en nettapplikasjon for å presentere dataene og resultatet fra ekspertsystemet på en oversiktlig og forståelig måte. Første versjon av internettsiden er tilgjengelig på www.imr.no/welfaremeter og viser live data fra et oppdrettsanlegg tilknyttet Havforskningsinstituttet. Siden består hovedsakelig av tre grafer og et viserinstrument, hvor viserinstrumentet angir velferdsindeksen. Den øverste grafen på siden gir et øyeblikksbilde av forholdene i merden fra topp til bunn. Målingene til sonden er indikert med punkter, x-aksen gir skalaen for miljøparameteren og y-aksen gir dybden. Bakgrunnen til grafen er delt opp i røde, gule og grønne soner. Hvis en måling er i den røde sonen, betyr det at forholdene på dette dypet er potensielt skadelige for fisken. Den gule sonen angir mindre gode forhold og grønn sone angir gode forhold. Brukeren kan lett velge mellom de ulike miljøparametrene ved å trykke på en meny ved siden av grafen. De to andre grafene er basert på lignende prinsipp, men angir utvikling over tid.

2.2 Delprosjekt 2: Teknologit utvikling av SmartTag-systemet

Kort oppsummert inneholder Delprosjekt 2 følgende planlagte hoveddeler:

1. Utvikling av digital SmartTag (STd).
2. Uttesting av STd på laks i kar.
3. Validere korrekt registrering og overføring av pusedata for laks.
4. Optimalisering av STd teknologien før produksjon av samtlige fiskemerker som skal brukes i delprosjekt 3.

Det opprinnelige SmartTag systemet ble utviklet som et forskningsverktøy spesielt tilpasset bruk på torsk. Signaloverføringen var analog, og bestod i at de analoge SmartTag fiskemerkene sendte ut et tilnærmet kontinuerlig lydsignal ved en gitt bærefrekvens. Trykkendringene som oppstod i fiskenes munnhule ved for eksempel pusting eller snapping av fôr ble registrert 20 ganger pr sekund, og medførte en frekvensmodulering av det utsendte signalet. Dette ga svært detaljert informasjon om endringer i fiskenes pustemønster

ved de ulike forsøksbetingelsene. En ulempe med dette systemet var imidlertid at slik analog dataformidling er meget strømkrevende, og således forutsetter at fiskemerkene er utstyrt med en relativt stor batteripakke for å få en akseptabel levetid. I tillegg er det slik at mens man i forskningssammenheng ofte ønsker mest mulig og svært detaljert informasjon for å kunne forstå de underliggende mekanismene, så er slike datamengder oftest uhensiktsmessig i kommersiell praktisk bruk. Likeledes vil analog signaloverføring begrense antallet samtidige merker til et fåtall for å unngå at signalene forstyrrer hverandre. Med et digitalisert SmartTag system vil dette antallet kunne økes betydelig. Hovedhensikten med dette delprosjektet var derfor å utvikle en digitalisert utgave av SmartTag systemet som:

- a) gir en miniatyrisering og forlenget batterilevetid i forhold til den analoge utgaven
- b) tillater samtidig bruk av et høyere antall fiskemerker
- c) gir periodevis overføring av kun de data som er ansett som mest hensiktsmessig for monitorering av velferd og stress ved praktisk bruk i kommersiell oppdrett, og
- d) gjør at informasjon fra SmartTag-systemet kan sendes direkte til samme database som Velferdsmeter-systemet og således inngå i en integrert totalløsning.

I tillegg til digitaliseringen må systemet også tilpasses bruk på laks. Dette innebærer utprøving og spesielle tilpasninger for plassering av merke og føring og plassering av sensorslange fra merket og til munnhulen tilpasset laksens anatomi. Videre vil trykkprofilene som registreres hos laks forventes å være noe annerledes enn det man kjenner for torsk som det analoge systemet hovedsaklig var tilpasset. Man må derfor validere at registrering og overføring av pustedata med det digitaliserte systemet faktisk gir korrekte mål. Dette er planlagt gjort ved samtidige målinger med både analog og digital SmartTag på de samme individene. Slike målinger vil samtidig gi grunnlag for optimalisering av STd-teknologien, slik at selve plasseringen av merke og sensorslange, filtrering og terskelverdier for trykkregistreringene, tidsopløsning, intern dataprosessering, samt utsending og mottak av data valideres før produksjon av samtlige STd som skal benyttes i delprosjekt 3.

Den teknologiske utviklingen av STd er gjennomført av Thelma Biotel AS i tett dialog med forskere ved Nofima Marin og Institutt for Teknisk Kybernetikk, NTNU. Den praktiske uttestingen og tilpasning av det digitale SmartTag systemet for bruk på laks er gjennomført ved Havbruksstasjonen i Tromsø; Landanlegget, Sjøanlegget og Fiskehelselaboratoriet, av forskere ved Nofima Marin, samt i samarbeid med forskere fra NTNU Institutt for Teknisk Kybernetikk, NINA, og fiskehelseveterinær Christian Koren.

2.3 Delprosjekt 3: Samkjøring av teknologiene

Alle målesystemene utviklet i delprosjekt 1 og 2 skal gjøre måledataene tilgjengelig ved hjelp av webserverssystem. Dette vil gjøre det mulig for brukere å få direkte adgang til rådataene på en enkel internettside på den respektive webserveren. Men mer viktig er at vi skal utvikle dedikert programvare til å hente dataene fra webserverne og samle de i en felles database. Når nye data ankommer denne databasen vil de bli analysert av ekspertprogrammet til

Velferdsometersystemet. Ekspertprogrammet til Velferdsometeret systemet skal videreutvikles til å også inkludere data fra referansesonden og SmartTag-systemet. Dette vil blant annet gjøre det mulig å konstruere modeller for pustefrekvens som respons på endringer i miljøet og hvordan fisken forflytter seg vertikalt i merdvolumet. Målingene fra referansesonden vil bli sammenlignet med målingene i merden for å få et godt estimat på oksygenforbruket til fisken. Sammen med pustefrekvens og pustevolum (integral) vil dette gi svar på om modelleringene av metabolsk margin og relativ metabolsk margin er korrekte. Målingene fra referansesonden vil også gi svar på om det er fisken som fører til dårligere miljøforhold i merden eller om det er en generell endring i det aktuelle området merden er plassert i. På denne måten blir ekspertprogrammet sammen med den utviklede måleteknologien et essensielt verktøy innen fiskevelferdsforskning.

Kort oppsummert inneholder Delprosjekt 3 følgende planlagte hoveddeler:

1. Kommunikasjon SmartTag digital - database.
2. Første test i merd, Bjørøya Fiskeoppdrett.
3. Videre testing og bruk i NFR-prosjekt.
4. Fortolkning av testresultat, sluttrapport til FHF

Bjørøya Fiskeoppdrett AS i Nord-Trøndelag, har sagt seg villig til å stille en representativ PEH-ring-merd til disposisjon for å teste ut de to systemene. Denne merden er lokalisert utenfor Kråkholmen i Flatanger kommune på en værhard lokalitet. Merden er 45 meter i diameter, 30 meter dyp og vil inneholde ca 700 tonn fisk. Ved å teste flåten med kontrollenhet og målesonde på denne lokaliteten får vi svar på hvordan flåten tolerer høye bølger og dårlig vær. Ved å teste de to systemene i en faktisk produksjon av laks får vi svar fra oppdretteren om hvor nyttig de synes systemene er i daglig drift og eventuelle ønsker om forbedringer. En ekstra fordel med denne lokaliteten er at strømforhold og bunnforhold ble godt beskrevet og dokumentert av marinkonsulent Per Andersen før oppdrettsanlegget ble utplassert. Vi vil derfor også få et svar på hvordan anlegget har påvirket de lokale miljøforholdene. Hvorvidt anlegget kan utvides med flere merder, eller om miljøforholdene ikke tillater dette. Bjørøya Fiskeoppdrett AS er en innovativ bedrift som gjerne tar i bruk ny teknologi. Bedriften anses som en krevende kunde som kan gi nyttige og konstruktive tilbakemeldinger til de involverte utstyrprodusenter og forskningsmiljøer.

Nofima Marin og Faggruppe Dyrevelferd på Havforskningsinstituttet har ansvar for å fortolke testresultatene og undersøke sammenhenger mellom oppdrettsforhold, fiskevelferd og vekst hos laks. Målet er å dokumentere at systemene gir en god indikasjon på om hvorvidt fisken har det bra eller ikke. Etter innspill fra styringskomiteen er en klar målsetning at samlede data ikke utelukkende bearbeides som en verifisering av målesystemenes evne til å kvantifisere fiskevelferd, men i størst mulig grad også fokuserer på konkrete resultater der fiskevelferdsmonitoreringen kan bidra som et redskap for driftsoptimalisering for oppdretter.

2.4 Vurdering av kommersialiseringspotensialet

I tillegg til de teknologiske og forskningsmessige aktivitetene inngikk et samarbeid med teknologioverføringsbedriftene TTO Nord AS i Tromsø (www.ttonord.no) og Bergen teknologioverføring (BTO AS, www.bto.no). Deres rolle var å undersøke og legge til rette for fremtidig kommersialisering av teknologiene, samt å følge opp avtaler som inngås i prosjektet. TTO Nord AS og BTO AS inngikk et samarbeid med følgende ansvarsfordeling:

- SmartTag: TTO Nord AS
- Welfaremeter: BTO AS
- Totalsystem: TTO Nord AS / BTO AS

Mer spesifikt skal TTO Nord og BTO blant annet bidra til å avklare rettighetsforhold, søke metoder for å beskytte utviklet teknologi, gjennomføre markedsvurderinger og vurdering av forretningspotensialer, finne hensiktsmessig kommersialiseringsform og sikre kommersiell avtale mellom FoU-miljø og utstysprodusent/-leverandør.

3 Resultater og diskusjon

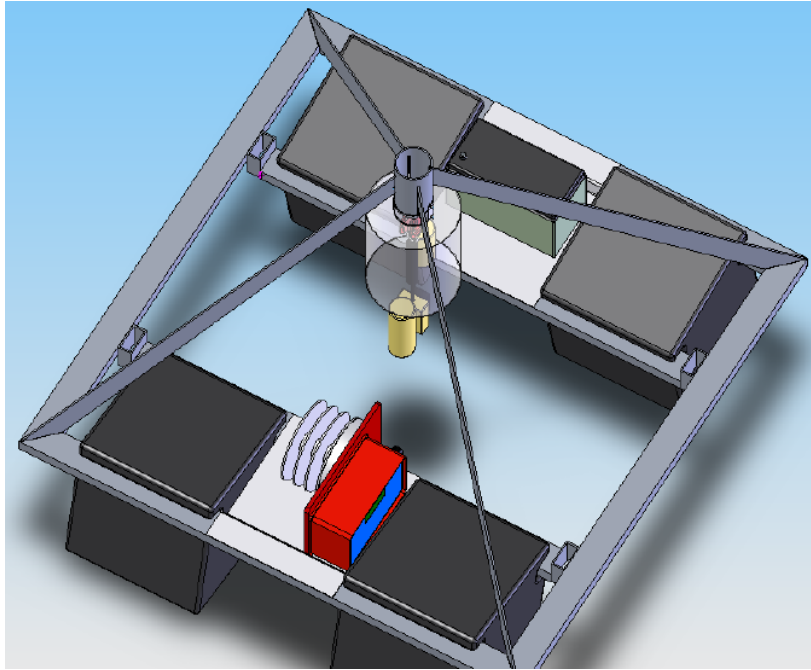
3.1 Delprosjekt 1: Videreutvikling av Velferdsmeter-prototyp-systemet

3.1.1 Utvikle og konstruere 1 stk. velferdsmeterflåte

Velferdsmeter-prototyp-systemet er tilpasset stålanlegg. Her kan vinsjen som heiser målesonden opp og ned i merden stå på merdkanten og trinsen som holder målesonden festes midt på en wire strukket over merden. Denne måten å feste målesonden på er ikke praktisk i elastiske ringmerder. Der var derfor viktig å utvikle et profilerende sondesystem hvor kontrollenheten og sonden er integrert på en flåte. Det skal altså være minimalt av montering (uansett merdtype) for å kunne ta systemet i bruk.

3.1.1.1 Velferdsmeterflåte

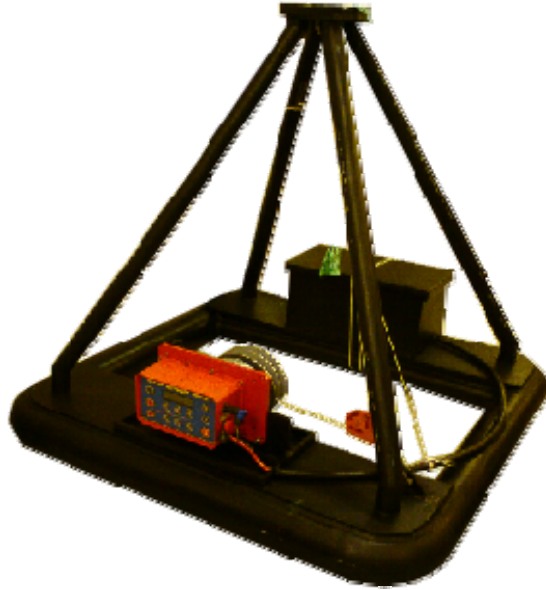
Selv om prosjektet ikke hadde startet enda og vi ikke enda hadde fått innvilget finansiell støtte begynte vi med utviklingsprosessen allerede våren 2008. I samarbeid med Åstvedt industri AS ble det tegnet et utkast av flåten for fremtidig produksjon. Dette var en direkte tilpasning av det opprinnelige prototypsystemet til en flåte: Kontrollenhet med vinsj ble plassert på en rektangulær flåte med hull til sjøen i midten hvor målesonden kunne senkes opp og ned via en trinse festet i et pyramidelignende stativ. Alle komponentene (bortsett fra flåte og stativ) var de samme som i den opprinnelige prototypen. Grunnen til stativet er at det er ønskelig å heve sonden over vann for å hindre begroing og for å kunne kalibrere oksygensensoren mot luft.



Figur 6 3D-illustrasjon av flåte (teget av Åstvedt Industri AS). Flåten holdes flytende av fire pontonger, en i hvert hjørne. Flåten bærer den styrbare vinsjen (BJ5000 fra Belatronic AS), et GSM-modem med styresystem og et bilbatteri. For å få balansert oppdrift står vinsjen på en side av flåten mens bilbatteriet står på motsatt side. Vinsjen drar målesonden opp og ned via en trinse festet i toppen av tårnet. Aluminiumsrammen er 1,5x1,5 m og 1m høy.

I oktober 2008 ble det bestemt at det ville være bedre å produsere flåten av polyethylene (PEH) istedenfor den opprinnelige planen med aluminiumsramme og pontonger. PEH er det samme materialet som ringmerder og andre moderne flytende konstruksjoner til oppdrettsmerder er laget av. Ved å lage rammen av PEH-sylindre vil disse i seg selv sørge for nødvendig oppdrift. Det er med andre ord ikke nødvendig med pontonger. Ved å lage flåten av PEH-sylindre vil den også få mindre skarpe kanter. Dette er fordelaktig både med hensyn på at det ikke er like stor risiko for at fisk som hopper mot flåten pådrar seg skade og at det blir mindre risiko for at flåten skal skade noten ved flytting inn og ut av merd.

Sjur Blænes og Jan Erik Fosseidengen ved Austevoll Havbruksstasjon konstruerte derfor en PEH-flåte basert på de opprinnelige tegningene. Denne flåten stod ferdig kort tid før prosjektets oppstartsmøte 17'ende oktober 2008 og etter uttesting av flåten i sjø ble det konkludert at flåten oppførte seg tilfredsstillende i bølger.

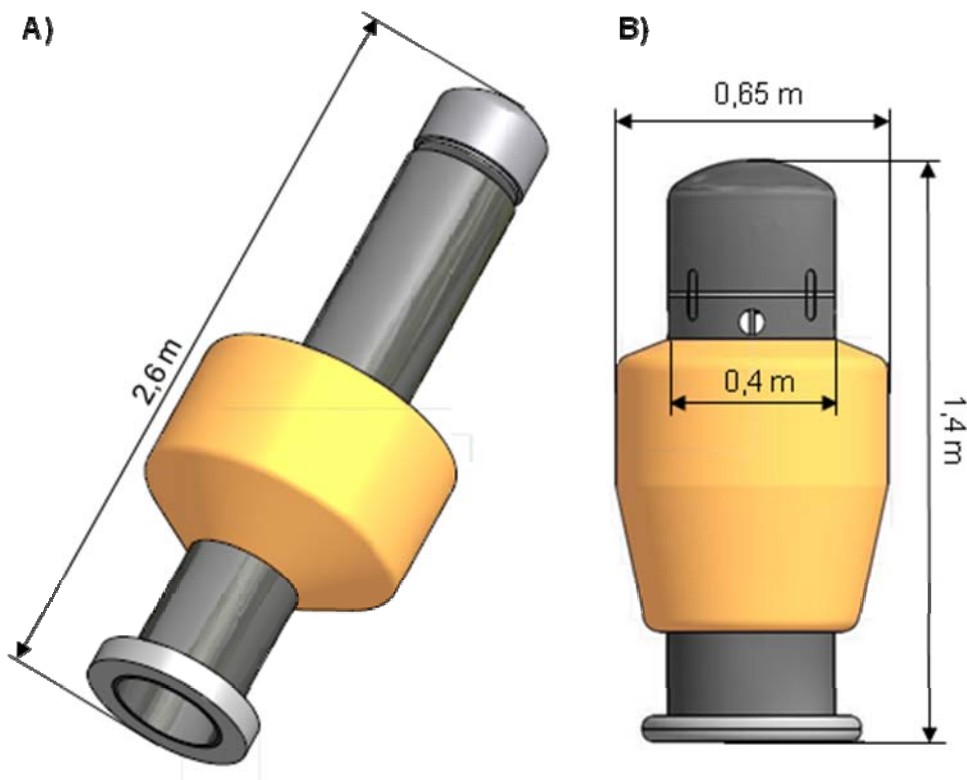


Figur 7 PEH-flåte. Flåten har plass til vinsj, bilbatteri og styresystem. Totalsystemet fungerte, men som industriprodukt ble det vurdert upraktisk å serieprodusere.

I november 2008 ble flåten overtatt av Morten Hammersland programvare for programmering av styresystem. Morten Hammersland fikk systemet til å fungere. Vinteren 2009 hadde vi altså et nesten ferdig flåtesystem etter de opprinnelige prosjektplanene. På dette tidspunkt hadde vi imidlertid fått så mange positive tilbakemeldinger om konseptet at det ble fremmet ønsker om å konstruere et flåtesystem som ville være bedre egnet til industriell produksjon.

3.1.1.2 Stakebøye

I mars 2009 ble det i samråd bestemt å forkaste flåteløsningen til fordel for en stakebøyeløsning. For å få til dette ble bedriftene STM maskinering AS og Argus Remote Systems AS involvert i prosjektet. Disse to bedriftene hadde tidligere produsert kompakte vinsjer og STM maskinering AS sa seg også villig til å konstruere bøyen. Målet var å konstruere en mekanisk og elektronisk totalløsning som både var kompakt, produksjonsvennlig og funksjonell. Med andre ord- et kommersielt, serieproduserbart produkt som både kunne tjene fiskevelferdsforskningen og samtidig løse oppdrettsnæringens behov for mer intelligent monitorering av oppdrettsanlegg.



Figur 8 A) Første utkast til stakebøye med topp-kuppel tegnet av STM Maskinering. B) Andre utkast til stakebøye. Topp-kuppelen inneholder vinsj, styresystem og web-server.

Første utkast av stakebøyen var en bøye som var hele 2,6 meter høy, Bøyen måtte være så høy for å få målesonden helt opp av vannet mellom måleseriene. Å ha en så høy bøye ble vurdert som lite praktisk. Vi ønsket en kortere bøye som samtidig gjorde det mulig å trekke både radiosenderen som hang i linen over instrumentpakken og instrumentpakken selv så høyt opp i bøyen at instrumentene havnet i hvilestilling over vannflaten. Hvilestilling i luft er nødvendig for å hindre begroing av måleinstrumentene. Løsningen ble å utvikle et nytt radiokort som kunne støpes direkte inn i SD204-sonden. Derved sparte man den plassen som radiosenderenheten opptok, og instrumentene kunne trekkes høyere opp i bøyen. Informasjonsflyten mellom bøye og omverden ble basert på en nykonstruert webserver.

Overgangen fra flåte til stakebøye forsinket prosjektframdriften kraftig. Men den 28. september 2009 ble bøyen satt ut i Nygårdsviken for første uttesting av dens mekaniske flyteegenskaper og elektroniske funksjonalitet.



Figur 9 Disse bildene er fra første uttesting av stakebøyen sin flyteevne.

Utover høsten ble både bøyen og styresystemet ytterlige perfektjonert. I korte trekk skjer nå datainnsamling og dataoverføring slik:

Instrumentpakken forlater sin hvileposisjon i bøyen til programmerbare tidspunkt, f. eks. hver time. Den vinsjes så nedover inntil den når et innstilt maksimalt dyp. Underveis måler og logger STD-sonden saltholdighet, temperatur og vanddyp samtidig som den logger måledata fra eksterne sensorer som f. eks oksygensensor, sensor for turbiditet og sensor for fluorescens.

Når maksimalt dyp er nådd, trekkes målesonden opp igjen til sin hvileposisjon inne i bøyen. Ved ankomst til bøyen blir målingene overført til bøyens webserver via radio hvorpå dataene plasseres på bøyens egen hjemmeside. Derfra hentes de målte data inn til Havforskningsinstituttets database via de vanlige internettprotokoller (http).

Argus Remote Systems AS har sakt seg villig til å være salgssledd ut mot næringen. Når hele systemet har vært uttestet over tid og vi er trygg på både bøye-system og Velferdsmeterekspertsystem fungerer tilfredsstillende vil totalsystemet bli gjort tilgjengelig for næring og forskere.

Februar 2010 plasseres det nye bøyeyesystemet på Austevoll havbruksstasjon for siste fase av uttestingen. Hvis alt går bra vil bøyen bli sendt til uttesting ved et kommersielt oppdrettsanlegg etter dette.

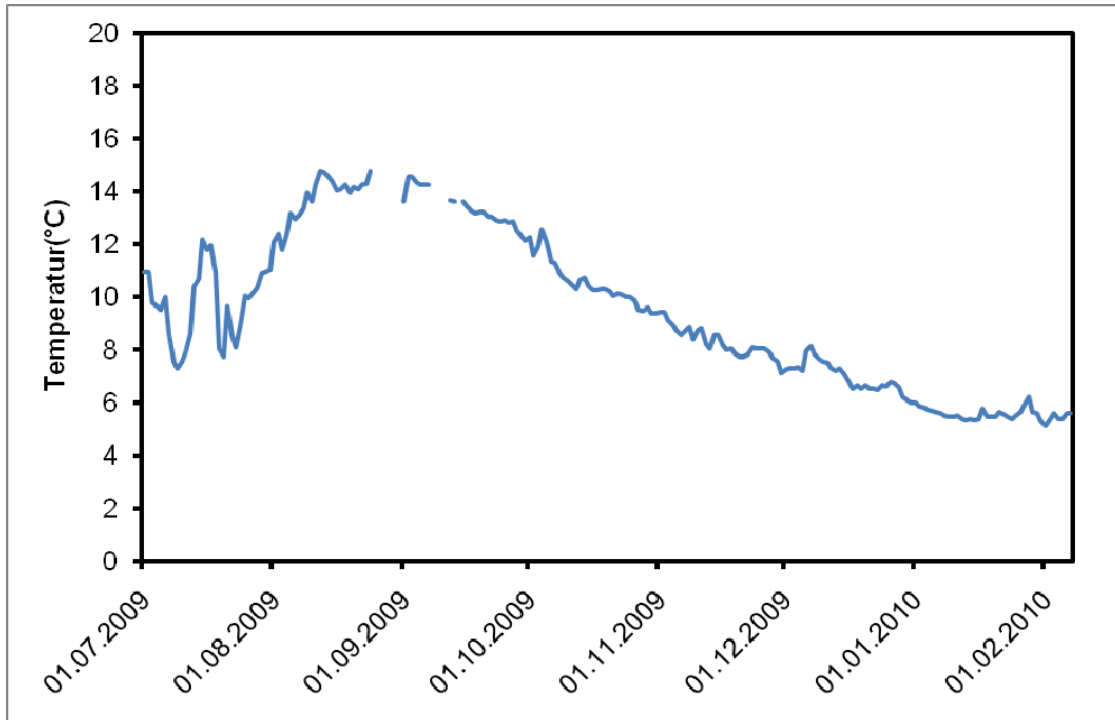
Selv om vi overskred den opprinnelige tidsplanen med nesten et år (skulle vært ferdig med utviklingen av ny måleflåte 17 april 2009) anser vi prosjektet som en stor suksess. Vi har kommet frem til et produkt som er mye bedre enn det vi først så for oss, ikke minst er det et stort pluss at produktet har fått et industrielt design og at nye enheter av målesystemet kan kjøpes fra Argus Remote systems AS og SAIV AS. Dette gjør det sannsynlig at målesystemet vil bli brukt i en rekke ulike sammenhenger og av mange forskjellige aktører.

3.1.2 Utvikling av referansesonde.

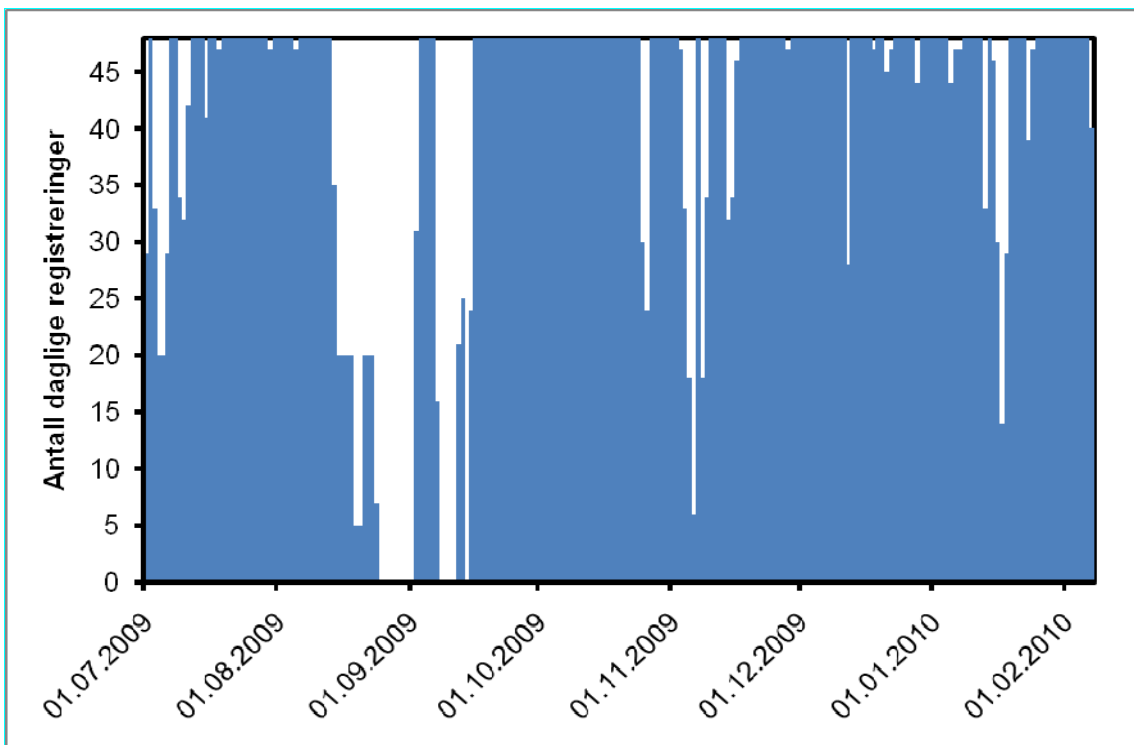
Det er viktig å kunne sammenlikne forholdene i merden med forholdene utenfor merden. Ved å ha en referansesonde på et representativt dyp utenfor merden som viser sjøvannets normalverdier kan fiskens og/eller merdens påvirkning på miljøforholdene beregnes. Det betyr at en kan få en indikasjon på hvilke tiltak som evt. bør settes i verk for å forbedre forholdene i merden.

Referansesonden skal fullt utbygd måle, registrere og presentere saltholdighet, temperatur, måledyp, oksygenmetning, strømhastighet og strømrretning i et fast dyp. Sensor for strømhastighet og retning er under utvikling. Resten er ferdig utviklet og har vært utplassert hos Bjørøya fiskeoppdrett AS siden 1'ste juli 2009.

Referansesonden er bygd over samme lest som det profilerende målesystemet (se over). Hovedkomponentene er SAIVs STD sonde modell SD204 med tilkopleet optisk oksygensensor (Oxygen optode 3830 fra Aanderaa Data instrument) og SAIVs webserver modell CU 802. Målesonden henger i en kabel fra driftsbygget til oppdrettsanlegget og er programmert til å hente inn måledata for saltholdighet, temperatur, dyp, og oksygen hver halvtime.



Figur 10 Snittemperatur per døgn siden start av uttesting av referansesonden.



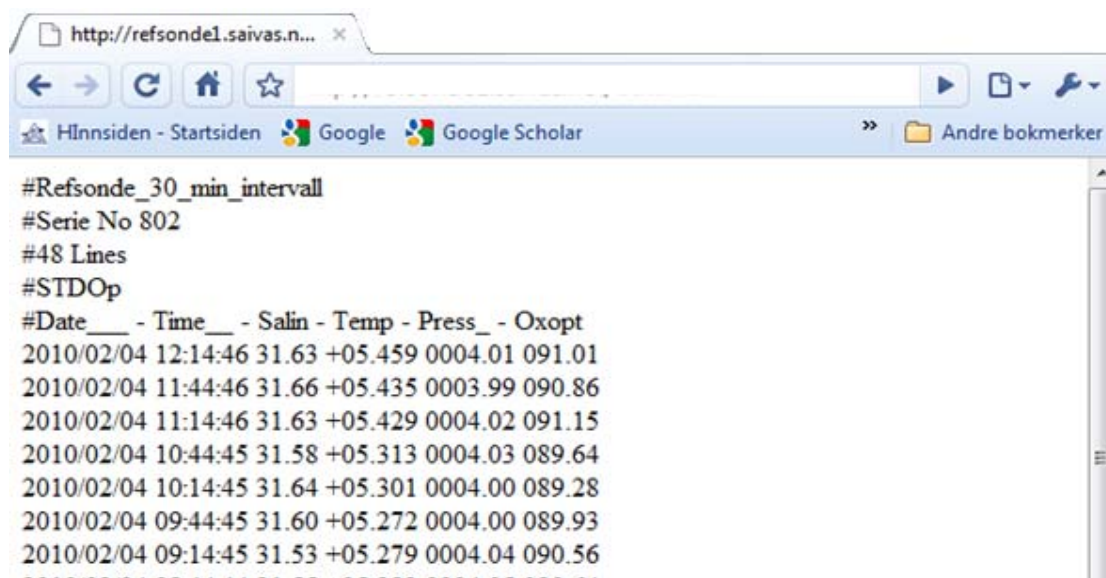
Figur 11 Testkjøring av kommunikasjonssystem mellom referansesonde og sentral database. Grafen viser antall registreringer per døgn (blå stolper) registrert i Velferdsmeterdatabasen. Ved 48 registreringer er alle de planlagte målingene registrert i databasen.

Vi var på forhånd spent på om GSM-dekningen ved anlegget ville være tilfredsstillende for vårt formål. De to-tre første ukene ble det eksperimentert litt med sonden og antall ganger den skulle registrere per døgn. I august og starten av september var det flere dager uten noen registreringer. Dette gjorde oss svært urolig og det ble vurdert å gå til anskaffelse av en ny og bedre antenne. Løsningen var imidlertid enkel. Den nåværende antennen stod i vinduskarmen i driftbygningen (laget av metall), men den var plassert på en slik måte at den ofte falt ned og dermed mistet kontakt med GSM-nettet. Etter at dette ble oppdaget har kontakten mellom referansesonden og databasesystemet vært tilfredsstillende.

3.1.3 Utvikle database- og ekspertsystem for automatisk innhenting og analyse av data fra de to overnevnte målesystem.

Velferdsmeter-prototyp-systemet baserte seg på at kontrollenheten sendte data videre til systemets sentrale database. Dette systemet fungerer bra og har vist seg å være svært stabilt. Men for å gjøre fremtidig feilsøking enklere ønsket vi å endre til et system hvor instrumentene i systemet hele tiden er tilgjengelige via egne websider. Dette vil gjøre det enklere ved for eksempel montering og gå inn på hvert enkelt instrument og se om det virker som det skal.

Både referansesonden og den profilerende sonden presenterer måledataene som en webside. Disse dataene blir hentet inn i den sentrale Velferdsmeterdatabasen av et dedikert software program kalt COSPRODA (COLlect SAIV PRObe Data). Enkelt forklart går dette programmet inn på websidene til de respektive sondene og henter eventuelle nye data og legger de inn i Velferdsmeterdatabasen. Programmet kjører som en Cron-jobb på en Linux-server ved Norsk Marint Datasenter. Cron er en jobb-planlegger i Linux, dvs. en kan bestemme når og hvor ofte et program skal kjøre. Cosproda er foreløpig satt til å kjøres hver halvtime.



```
#Refsonde_30_min_intervall
#Serie No 802
#48 Lines
#STDOp
#Date__ - Time__ - Salin - Temp - Press_ - OxoPt
2010/02/04 12:14:46 31.63 +05.459 0004.01 091.01
2010/02/04 11:44:46 31.66 +05.435 0003.99 090.86
2010/02/04 11:14:46 31.63 +05.429 0004.02 091.15
2010/02/04 10:44:45 31.58 +05.313 0004.03 089.64
2010/02/04 10:14:45 31.64 +05.301 0004.00 089.28
2010/02/04 09:44:45 31.60 +05.272 0004.00 089.93
2010/02/04 09:14:45 31.53 +05.279 0004.04 090.56
2010/02/04 08:44:45 31.55 +05.282 0004.05 090.64
```

Figur 12 Skjerm bilde av referansesonden sin dataside. Dataene er organisert i kolonner: dato, klokke tid, saltholdighet, temperatur og trykk.

3.1.4 Utvikle internetapplikasjon for presentasjon av måledata og analyse, samt mulighet for manuell innlegging av tilleggsdata som antall fisk, fiske-størrelse, fôring, fiskeatferd, dødelighet og sykdom

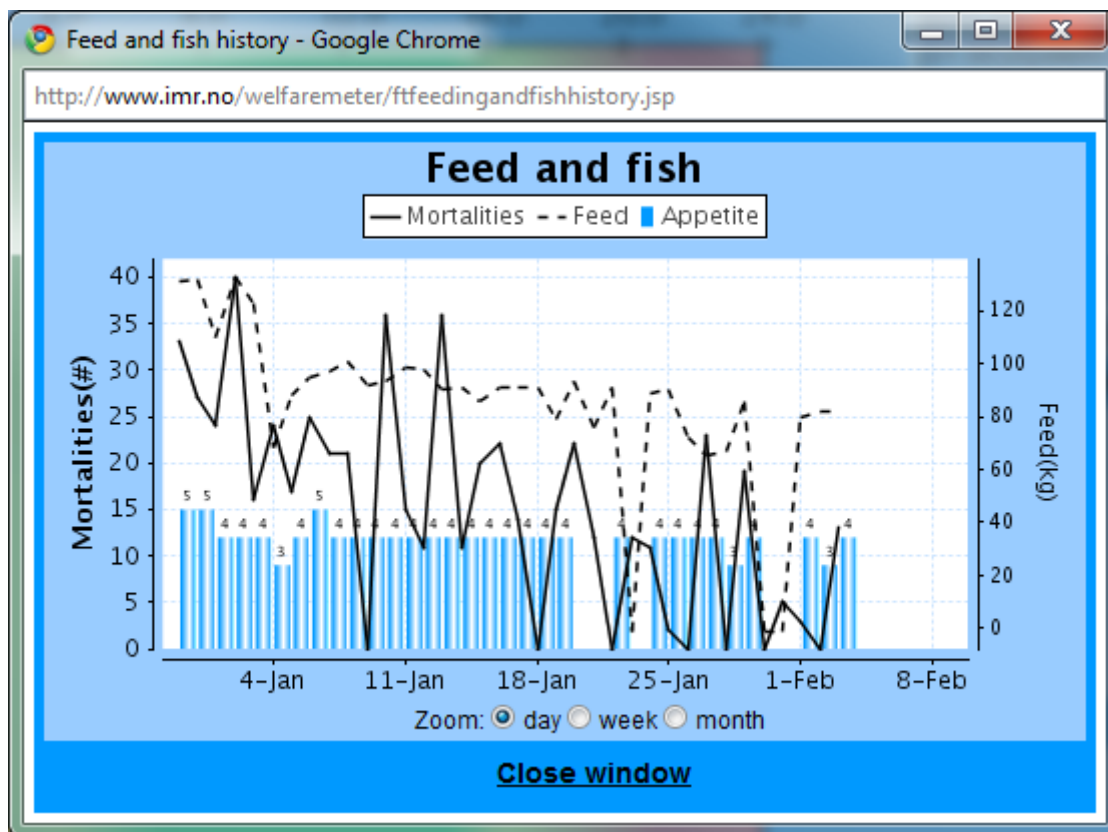
For Velferdsmeter-expert-systemet er det viktig å vite hvor mange fisk det er i merden, størrelse til fisken og hvor mye og når den fôres. I fremtiden tenker vi oss her en integrering med software for fôringsystem (som allerede inneholder denne informasjonen), men som en foreløpig løsning vil vi be oppdretter gi disse opplysningene manuelt til Velferdsmetersystemet via nettsiden. I den forbindelse har det blitt utviklet en rekke input-dialoger som kan åpnes fra Velferdsmeternettsiden.

Feeding and Fish						
	Day	Mortalities	Feed (kg)	Appetite		
Week ↑ 2 ↓	Monday	15	99.0	4 - ok, normal	ok	
	Tuesday	11	98.0	4 - ok, normal	ok	
	Wednesday	36	90.0	4 - ok, normal	ok	
	Thursday	11	91.0	4 - ok, normal	ok	
	Friday	20	86.0	4 - ok, normal	ok	
	Saturday				NA	missing
	Sunday				NA	missing

FastTool - feed and fish analysis
The amount of feed the fish are fed every day, the fish's appetite and the number of fish mortalities is important information for the system to give an accurate assessment of fish welfare and fish growth.

[Close window](#)

Figur 13 Eksempel på inputdialog. Oppdretter kan bruke denne dialogen ('Fôr og fisk') til å registrere antall døde fisk, hvor mye som er blitt fôret og sin egen vurdering av fiskens appetitt per dag.



Figur 14 Dialog som viser inputdata om antall døde fisk, mengde fôr og subjektiv vurdering av fiskens appetitt over tid.

I tillegg til dialoger for input av data fra oppdretter er det lagt til tabeller som skal vise data fra ulike vekstmodeller. Men i påvente av at vi får et ferdig målesystem sett (dvs. anlegg med både referansesonde og profilerende sonde) har vi valgt å vente med å aktivere denne funksjonaliteten.

Velferdsmeter internettsiden har også blitt klargjort for referansesonden. Referansesonden vises som et punkt på profilgrafen og det er også en egen graf som viser referansemålingene over tid.

3.2 Delprosjekt 2: SmartTag-systemet

Hovedhensikten med dette delprosjektet var å utvikle en digitalisert utgave av SmartTag systemet da dette gir følgende fordeler:

- a) en miniatyrisering og forlenget batterilevetid i forhold til den analoge utgaven
- b) tillater samtidig bruk av et høyere antall fiskemerker / kanarifisk
- c) gir periodevis overføring av kun de data som er ansett som mest hensiktsmessig for monitorering av velferd og stress ved praktisk bruk i kommersiell oppdrett, og

- d) gjør at informasjon fra SmartTag-systemet kan sendes direkte til samme database som Velferdsmeter-systemet og således inngå i en integrert totalløsning.

I tillegg til den teknologiske digitaliseringen av SmartTag-system innebar dette delprosjektet også praktisk uttesting for nødvendig tilpasning av teknologien for bruk på laks, inklusive validering og optimalisering av korrekt registrering, bearbeiding og overføring av data.

Den teknologiske utviklingen av SmartTag-digital (STd) er gjennomført av Thelma Biotel AS i tett dialog med forskere ved Nofima Marin og samarbeidspartnere. Den praktiske uttestingen og tilpasning av det digitale SmartTag systemet for bruk på laks er gjennomført ved Havbruksstasjonen i Tromsø (HiT); Landanlegget, Sjøanlegget og Fiskehelselaboratoriet. I tillegg til dette er det også gjennomført teknologisk utvikling og praktisk uttesting av separate dybdemerker og SmartTag's funksjon for måling av fôrintak. Dette ble gjort i et samarbeid mellom Nofima marin, Institutt for Teknisk Kybernetikk ved NTNU og Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) som del av det NFR-finansierte prosjektet FEEDTAG (NFR # 165197/S40, ledet av Jo Arve Alfredsen, NTNU).

3.2.1 Teknologisk utvikling av digitalisert SmartTag-system

De viktigste komponentene i det digitale akustiske fiskemerket er en akustisk transducer, batteripakke, mikrokontroller med tilpassede elektroniske komponenter og en differensialtrykkensensor. De mest ressurskrevende oppgavene i utviklingen var å designe et nytt kretskort for mikrokontroller, sensor og tilhørende elektriske komponenter og å utvikle programvaren med filtre og algoritmer.

Mekanisk utforming.

Dimensjon, vekt og batterilevetid

Det nyutviklede STd fiskemerket er 13mm i diameter og 39mm langt inklusive sensorporter i den ene enden. I luft er vekten ca 12 gram og i vann ca 7gram. Batterilevetiden vil i følge beregninger med utsending av data hvert 3.min bli mellom 7,4 og 12,2 måneder, henholdsvis garantert og estimert. Her ser en tydelig gevinsten med å prosessere data i merket når levetiden på den analoge versjonen var estimert til ca 20 dager. Disse estimatene gis med et lite forbehold siden de er basert på beregninger og ikke faktiske strømtrekkmålinger.



Figur 15 SmartTag-digital (STd) merket er 39 x 13 mm, veier ca 7 gram i vann og har en estimert batterilevetid på 7 - 12 måneder. Foto: Frank Gregersen / NOFIMA og Thelma Biotel AS.

Sensortilkobling

I den ene enden er det to porter for tilkobling av slange for differensialtrykkmåling. Portene er ~4 mm lange og har en ytre diameter på 1,88 mm. Porten som ligger ytterst er den "positive" porten, dvs. at når trykket på denne er høyere enn trykket på porten i midten gir det et positivt utslag og negativt hvis trykkdifferansen er omvendt. Det har blitt brukt en tygon-slange (Saint-Gobain T3602-13) med indre diameter 1,6 mm og ytre diameter 3,2 mm for tilkobling til sensoren.

Funksjonalitet

Aktivering og deaktivering av sender

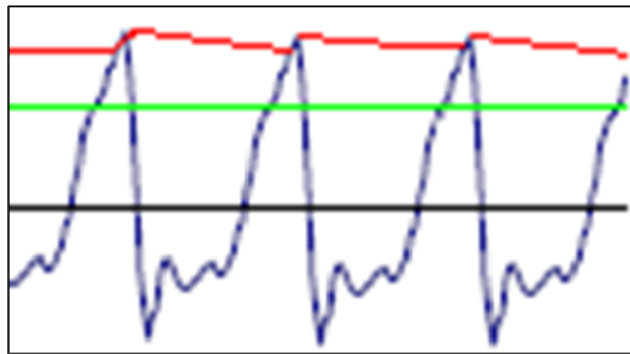
STd har en innebygget magnetbryter/sensor for aktivering og deaktivering av senderen. Senderen vil respondere med et pulstog når en magnet holdes inn mot den. Magneten må så fjernes imens et nytt pulstog sendes, og så legges inntil igjen for å aktivere/deaktivere senderen.

Differensialtrykksensor

Differensialtrykksensoren måler trykkforskjellen mellom to trykkporter. I SmartTag brukes den ene porten som en referanseport som er eksponert mot omgivelsestrykket rundt fisken, mens den andre porten er eksponert mot innsiden av fiskens munnhule. På den måten elimineres omgivelsestrykket fra målingen, og en måler kun trykkforskjell mellom innsiden og utsiden av fisken. Et lavpassfilter sørger for å filtrere ut evt. konstante trykkforskjeller forårsaket av at referanseporten ikke er på nøyaktig samme dybde som måleporten. Sensoren har et måleområde på +/- 1 PSI, dvs +/- 70 cm vannsøyle. For å øke oppløsningen på målesignalet blir signalet fra sensoren forsterket opp slik at målingen teoretisk går i metning på +/- 22 cm vannsøyle. Siden sensor og forsterker har en viss offset vil imidlertid spennet i målingen avvike noe fra dette, reelt måleområde kan f.eks. være +27 cm til -17 cm vannsøyle.

Signalfiltrering

STd har en innebygget signalprosessor som sampler signalet fra trykksensoren med en frekvens på 25 Hertz, dvs 25 samples/sekund. Signalet filtreres med flere forskjellige filtre for å finne blant annet 0-referanse og et glattet signal for pustefrekvensdeteksjon. 0-linjen registreres ved bruk av et lavpassfilter på 0,1 Hz, dvs. at gjennomsnittlig nivå de siste 10 sekund regnes som 0-linje. Pustesignalet går gjennom et lavpassfilter på 2,5 Hz. I figuren under ser vi et pustesignal med noen filterkurver (svart – grønn – rød) som benyttes i deteksjonsalgoritmene.



Figur 16 Illustrasjon over pustesignal med filterkurver som benyttes i STd's deteksjonsalgoritmer.

Pusteintegral

Pusteintegralet er et mål for arealet som avtegnes mellom pustesignalene og 0-linjen og vil således gi et mål for hvor store vannvolumer fiskene til enhver tid puster. Mellom hver utsending av meldingen som angir pusteintegralet, summerer SmartTagDigital opp alle målingene av pusteamplitude, der amplituden er likerettet om 0-linjen. Samtidig telles det opp hvor mange målinger som har blitt gjort. Dersom signalet ligger akkurat på 0-linjen telles ikke dette med i integralet. Ved utsending av pusteintegral skaleres integralet til en verdi mellom 0 og 255. Dette gjøres ved å dividere integralet på antall målinger som er gjort. Dette gir en teoretisk maksverdi på 511. Dette forutsetter imidlertid at differensialtrykksensoren har hatt utslag som vekslet mellom fullt utslag (± 22 cm vannsøyle) kontinuerlig i måleperioden. Forutsetter en at en har en sinusformet pustesignatur med peak-verdi på ± 15 cm utslag vil dette gi en teoretisk integralverdi lik $0.7 \cdot 364 = 255$. Siden differensialtrykket vil ligge rundt 0 PSI deler av tiden, og antatt maks trykk-peak ikke vil være så høyt ± 15 cm, multipliseres integralet med 2. Det vil si at en teoretisk kontinuerlig sinusformet pusteprofil med peak på ± 7.5 cm vannsøyle vil gi en utsendt integralverdi lik 255. Det er imidlertid viktig å merke seg at dette integralet ikke er validert mot faktiske målinger av pustevolumer da slik validering ikke er finansiert i eksisterende eller andre prosjekter. Utfra de teoretiske betraktninger kan man likevel forvente at dataene for integral gir et tilfredsstillende tilnærmet mål på faktiske endringer i pustevolumer.

Pustefrekvens

Pustefrekvens detekteres av en nivåtrigger, der et pust detekteres når differensialtrykket overstiger et gitt nivå. Dette nivået er gitt av en lavpass-filtrert verdi (grønn linje i figur 16)

generert av peakutslagene i pustesignalet (rød linje i figur 16). Før et nytt pust kan detekteres må det ha gått en minimum tidsperiode og trykket må ha vært under 0-linjen i mellomtiden (sort linje i figur 16). Når det er tid for å sende ut meldingen som angir pustefrekvensen, divideres antall registrerte pust med måleperioden (som kan variere noe fra utsending til utsending), slik at resultatet blir pustesykler per minutt (pust/min). Når det er tid for å sende ut meldingen som angir pustefrekvensen, divideres antall registrerte pust med måleperioden (som kan variere noe fra utsending til utsending), slik at resultatet blir pustesykler per minutt (pust/min).

Spike-teller for fôrinntak

Trykkendringene som skjer i fiskenes munnhule ved snapping av fôr overskrider i betydelig grad de trykkendringene man ser som følge av pusting. Med tanke på mulig kvantifisering av fôrinntak er det derfor lagt inn en funksjon i STd som registrerer slike plutselige, store trykkutslag. Dersom målt differensialtrykk vesentlig overstiger maksimal trykkendring ved pusting (peaknivå) og et fast minimum trykknivå (~1 cm vannsøyle) registreres dette som en *spike*. Registrerte spikes telles, men det må gå minimum 2 sekunder etter en spike før en ny spike kan registreres. I denne perioden blir det heller ikke registrert pust eller integral. Spikes er ikke angitt i forhold til noen fast periode. Antall spikes telles opp mellom hver utsending av spike-telleren, og den settes så til null og nye spikes telles opp. Feilkilder ved spikes-registreringer er blant annet at vi ikke vet om den indikerte snappingen etter fôrpellet faktisk medfører at fiskene får tak i pelletten, samt at andre atferder så som "harking" også kan utløse spikes.

Sending og mottak av data

Å finne en god strategi for hvordan merkene skal sende ut data er viktig for å få best mulig dataoverføring, siden båndbredden i undervannsakustikk er begrenset. Med 3 minutters utsendingsintervall og 10 fisk på samme frekvens kan en forvente at det gjennomsnittlig tar 7,8 minutter mellom hver dataoverføring fra et enkelt merke. Ved å bruke flere forskjellige sendefrekvenser for merkene, gjerne med 3kHz kanaler, kan en øke antallet merker betydelig siden en på forskjellige frekvenser kan sende og motta samtidig.

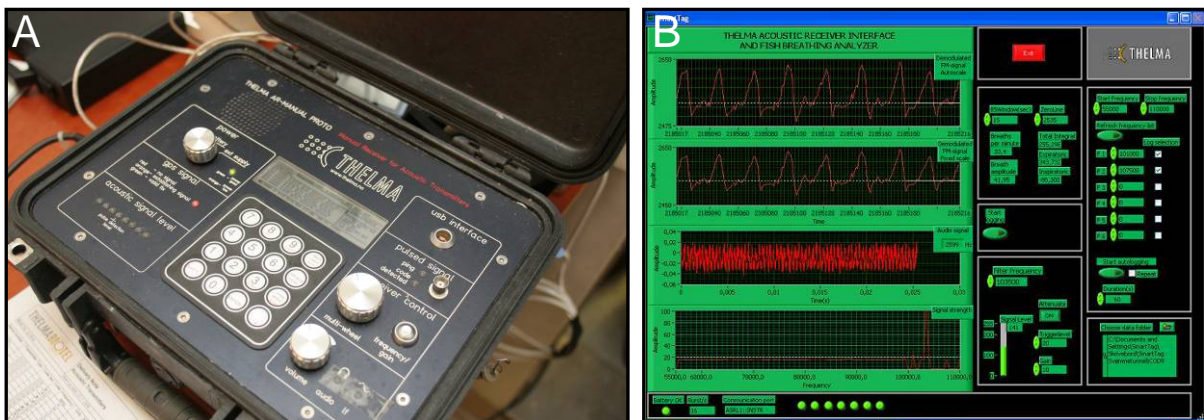
For STd sendes data med en kjent akustisk protokoll. Dersom to merker sender samtidig på samme frekvens vil en ikke kunne tolke meldingene. Derfor bør en ved merking av mange fisk benytte randomisert utsendestidspunkt, begrense sendehyppigheten og/eller benytte flere sendefrekvenser. I hver melding sendes det en ID (1-256) og en sensor/data-verdi (0-255). I tillegg sendes det en sjekksum som verifiserer at mottatt ID og data er korrekte. Hver sender hadde ID 1, 2 og 3, der ID-ene ble brukt for å angi hvilke data som ble sendt:

- ID 1: Pusteintegral
- ID 2: Pustefrekvens (pust/min)
- ID 3: Antall spikes siden forrige utsending av antall spikes

Sendeeffekten for STd er 153dB. Senderene var satt opp til å sende ut ID i stigende rekkefølge, med randomisert utsending med 120 til 240 sekunders mellomrom (2 - 4 min). I

gjennomsnitt skal det da være i overkant av 9 minutter mellom hver gang ID 1 sendes. Utsendelsesstrategien kan tilpasses hvert enkelt forsøk.

En akustisk mottaker med hydrofon trengs for å registrere de akustiske kodene. Thelma Biotel sine mottakere kan kobles til PC for logging og videresending av data til ønsket programvare. Ved mottak av generelle pulser vil Thelma Biotels mottakere vise pulsavstandene på LCD-skjermen. Pulseavstandene er gitt i millisekund, dvs. tusendels sekund. 1500ms er altså 1,5 sekund, og det vil indikere en pustefrekvens på $60/1,5 = 40$ pust/min. Måledata med ID sendes ut som et pulstog bestående av 8 pulser. De to første pulsene har en fast avstand som indikerer at nå kommer det data. Når mottakeren kjenner igjen disse "synk"-pulsene mottar den og tolker de følgende 6 pulsene. Dersom mottaket er vellykket (ingen tapte pulser eller støy/kodekollisjoner), vil mottatte data vises på skjermen. Listen over mottatte data vil inneholde linjer som vist her: "#11: 75000, a/d:40 ID:2, RSSI:145, 18:25:40", der #11 indikerer hvor mange meldinger som har blitt mottatt (dette er nummer 11), 75000 er mottaksfrekvensen (75kHz), a/d:40 er data-verdien (40 pust/min), ID:2 angir fiskens ID og hvilken type data det er snakk om, RSSI står for Received Signal Strength Indicator og angir styrken på det mottatte signalet (0-255) og til slutt har en klokkeslettet for mottatt melding.



Figur 17 A) Akustisk mottaker for digitale data. B) Skjerm bilde fra mottak, analyse og logging av analoge akustiske data.

Mottakeren kan også kobles til PC via et USB-grensesnitt. USB-porten vil fremstå som en virtuell COM-port, og data fra mottakeren kan mottas i et terminal-vindu der mottatte data også kan logges og senere hentes inn i f.eks. Excel som en komma-separert fil. Mottatte data sendes i et NMEA-liknende format av typen: `$THMCOM, S256, 18:25:40, 22-01-09, CH: 0, F: 75000 (75121), ID: 2, Sensor: 40*23`. Alle meldinger starter med `$THMCOM` og slutter med `*nn` der `nn` er en sjekksum som genereres for å kunne verifiserer at meldingen ikke inneholder noen feil. S256 er typen melding som har blitt mottatt. S – står for sensor og 256 for antall ID-er meldingen kan angi. 18:25:40, 22-01-09 er tidspunkt for mottak av meldingen CH: 0 angir kanal-nummer. F: 75000 (75121) – angir filterfrekvens og mottatt frekvens i parantes (det vil alltid være noe avvik fra filterfrekvens). ID: 2, Sensor: 40 – angir ID og data som for LCD-skjerm

Programvare for automatisk mottak og bearbeiding av STd data

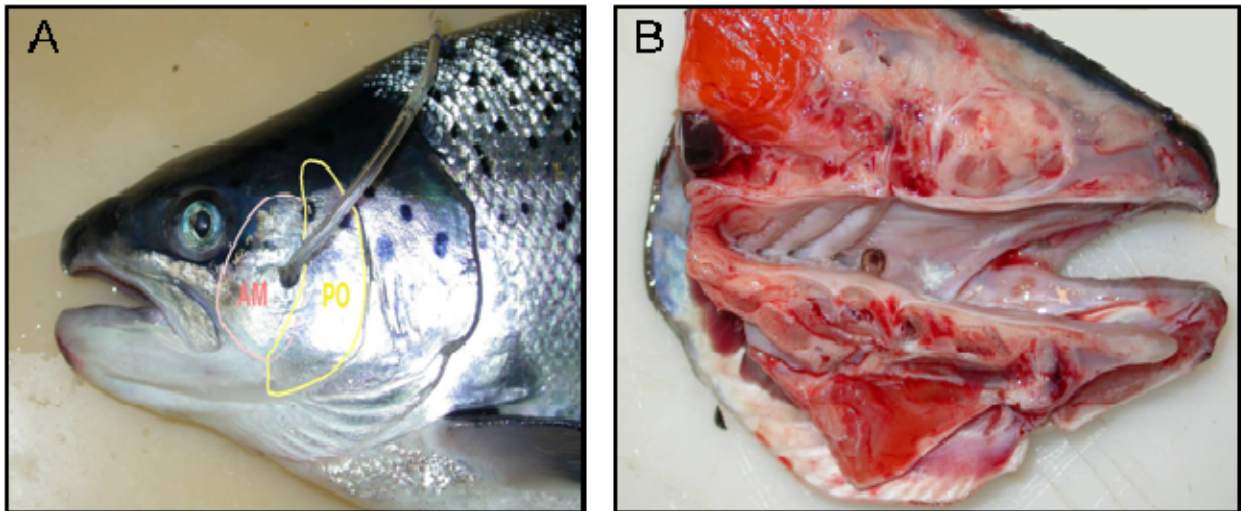
For overføring av data fra den akustiske mottakeren ble en enkel USB tilkobling med virtuell seriellport benyttet. Dataene blir sendt med et NMEA lignende format (se forrige avsnitt). For mottak og logging av disse dataene ble et standard seriell-grensesnitt program benyttet, Brey Terminal. Dette programmet logger til en tekstfil og skriver ut på skjermen det som kommer inn gjennom den valgte seriellporten. Det ble ikke lagt mer arbeid i denne delen siden en senere ser for seg å sende dataene rett inn i velferdsmeterdatabasen, eller at de hentes inn dit av velferdsmeterprogramvaren.

Thelma Biotel har tidligere på oppdrag fra Nofima utviklet programvare for mottak og logging av analoge akustiske data via en analog mottaker og et datasamlingskort. I tillegg har det også blitt utviklet et program for analyse av analoge data. Ved å dobbeltmerke fisk med både analoge og digitale versjoner av SmartTag fikk en sammenlignet de digitale resultatene med rådata fra de analoge merkene. Dette var svært nyttig for å kunne forbedre algoritmene i den digitale SmartTag og samtidig verifisere måledataene.

3.2.2 Utprøving av STd på laks i kar og små merder

Festemetode for STd for bruk på laks

I samarbeid med fiskehelseveterinær Christian Koren ble det gjort disseksjoner og anatomiske betraktninger av død fisk for å finne optimal festemetode for STd for bruk på laks. For trykksensorslangen ble det raskt klart at gjeldende innfestingsmetode benyttet for torsk ikke var hensiktsmessig da samme føring av slangen ville gi kontakt og irritasjon av gjellebuer. I tillegg fant vi at vannvolumet i laksens munnhule er svært lite ved lukket munn. Dette begrenser mulighetene for plassering av instrumenter som skal være i kontakt med vannvolumet. Etter nærmere vurderinger ble metode med føring av sensorslange gjennom gjellelokket valgt. Gellelokket blir perforert med en kanyle (Ø ca 2 mm) fra et punkt i huden over bakre del av kjevemusklene (*adductor mandibulae*) og like foran fremre gjellelokksbeinplate (*preoperculum*) slik at åpningen blir like framfor hyoidbuen og vinkelen som dannes av bruskestavene i fremste gjellebue (Fig. 18). Slangen ble så trukket motsatt veg gjennom stikkanalen ved hjelp av en ståltråd som ble ledet av kanylen. Fastheten i knokkelplata (*metapterygoid*), som ligger like under huden på innsida av gjellelokket, sørger for god fiksering av slangen inn mot munnhula og hindrer at den glir ut av kanalen i gjellelokket, selv om flensen i enden av slangen er liten. Viktige hensyn i valget var at sensormontering skulle være praktisk gjennomførbar i felt, ikke forventes å gi skade på fisken ved lang tids instrumentering, og i minst mulig grad forventes å påvirke muskler og ledd involvert i puste- og spisebevegelser.



Figur 18 Ytre (A) og indre (B) føring av trykksensorslange for bruk på laks (AM = adductor mandibulae, PO = preoperculum). Foto: Christian Koren.

For innfesting av selve STd-merket ble det valgt å feste dette i forkant av ryggfinneren (istedenfor gjennom basis av ryggfinne som for torsk) blant annet fordi dette ga kortere føring av sensorslange. Merket ble festet med syrefast ståltråd (dental kvalitet). To tråder blir ført gjennom øvre del av ryggen og en underlagsplate på motsatt side. Det er bare bløtvev i midtlinja i denne del av ryggen. Rivfastheten i festet skyldes derfor hovedsaklig kollagenfibrene i lærhuden, hvilket gjør at styrken er begrenset men sannsynligvis tilstrekkelig.

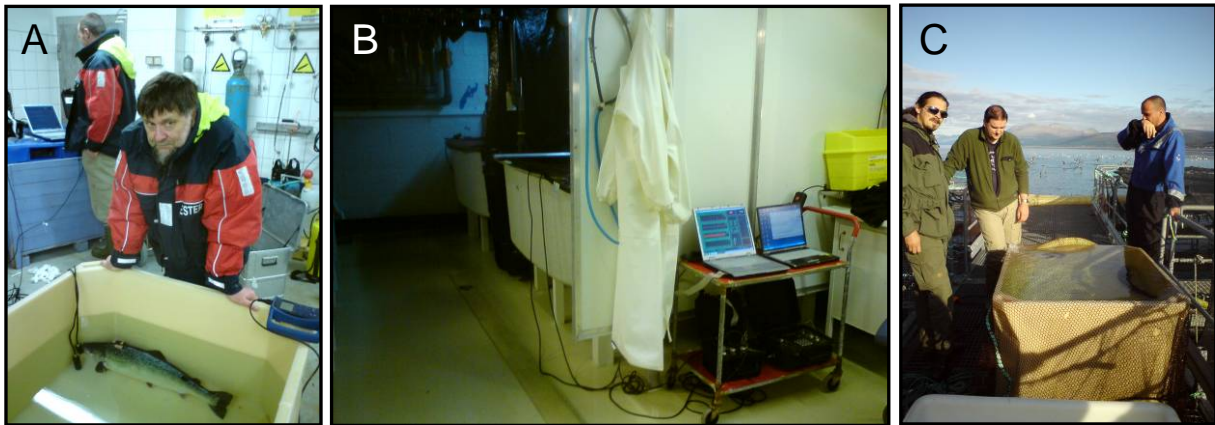


Figur 19 STd-merket festes gjennom ryggmuskulaturen ved bruk av kjeve-ortopedisk tråd. Foto: Frank Gregersen / NOFIMA.

Måletester på fritt svømmende, levende laks viste at festemetoden fungerte bra (testet med kontinuerlige registreringer for inntil 7 uker). Vi fant imidlertid at det var viktig å være nøyaktig med denne gitte plasseringen av sensorslangen, da avvikende plassering kunne gi konsekvent lavere trykkutslag (trykkutslagene må ikke være lavere enn STd's programmerte deteksjonsgrense).

Validering og optimalisering av STd målinger på fritt svømmende laks

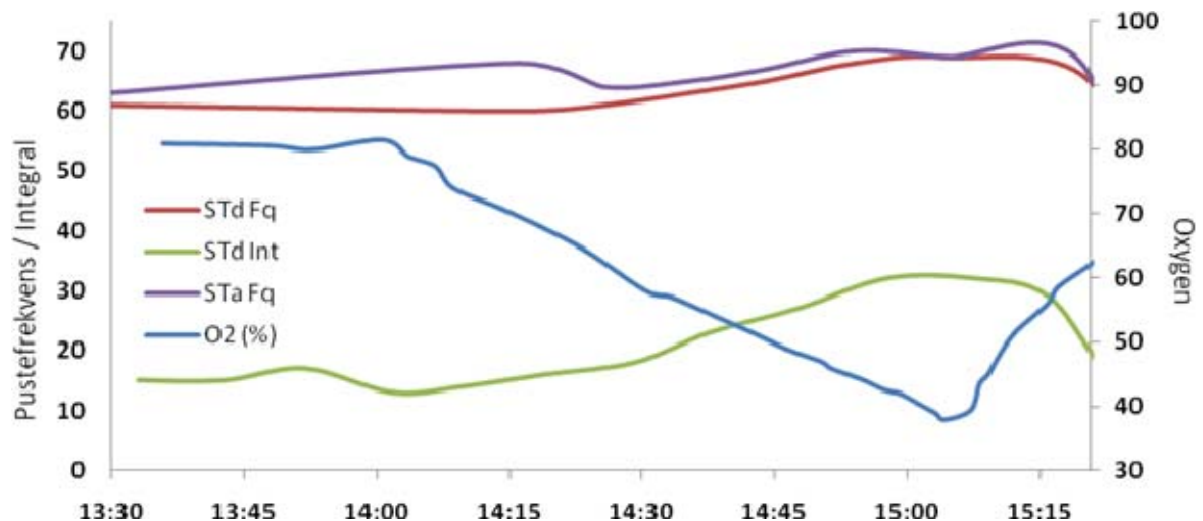
Digitaliseringen av SmartTag ble utviklet i henhold til tidsplanen, der tre stk. STd prototyper samt mottakerutstyr ble levert Nofima marin for praktisk uttesting innen 17. januar 2009. Man gikk da umiddelbart i gang med uttestingen av disse på laks i kar og små merder med den hensikt å validere korrekt registrering, prosessering og overføring av pusedata for laks. Valideringsforsøkene bestod i at enkeltlaks samtidig ble merket med både analog og digital SmartTag. Vi kunne dermed direkte sammenligne resultatene fra de digitale merkene med detaljert samtidig pusteinformasjon fra de analoge merkene.



Figur 20 A) Kontroll av signalkvalitet for laks som nettopp har blitt instrumentert med både analog og digital SmartTag (STa og STd; dobbeltmerket laks) ved en de første testene som ble gjort i kar og små merder ved HiT's sjøanlegg. B) Mottakeroppsett for logging av dobbeltmerket laks ved HiT's fiskehelselab. C) Merket fisk klar til utsett i merd ved HiT's sjøanlegg (Foto: Ø. Aas-Hansen).

Innledende forsøk ble gjort med laks ca 3 kg i kar og i små merder ved Havbruksstasjonens sjøanlegg i Tromsø, i perioden januar til mars 2009. Disse testene bekreftet at overføring av registrerte data fra merke til mottakersystem fungerte som det skulle. Dessverre bekreftet testene også at de mottatte data samsvarte dårlig med de samtidige registreringene med analoge SmartTags, og det ble konkludert at videre utvikling av den interne programmeringen i STd var nødvendig. I perioden april - september ble det så gjort en serie tester under kontrollerte betingelser (kar og svømmetunnel) ved Havbruksstasjonens landanlegg i Tromsø. Det ble nå benyttet røye (*Salvelinus alpinus*) på ca 2 kg da stor laks ikke var tilgjengelig. Etter utveksling av måleresultater og erfaringer mellom Nofima Marin og Thelma Biotel ble det i begynnelsen av september 2009 konkludert at vi sannsynligvis hadde løsningen på problemene og helt nye STd prototyper ble bestilt. Disse ble testet på laks (ca 3 kg) i store kar (4 m³) ved Havbruksstasjonens Fiskehelselaboratorium i perioden november -

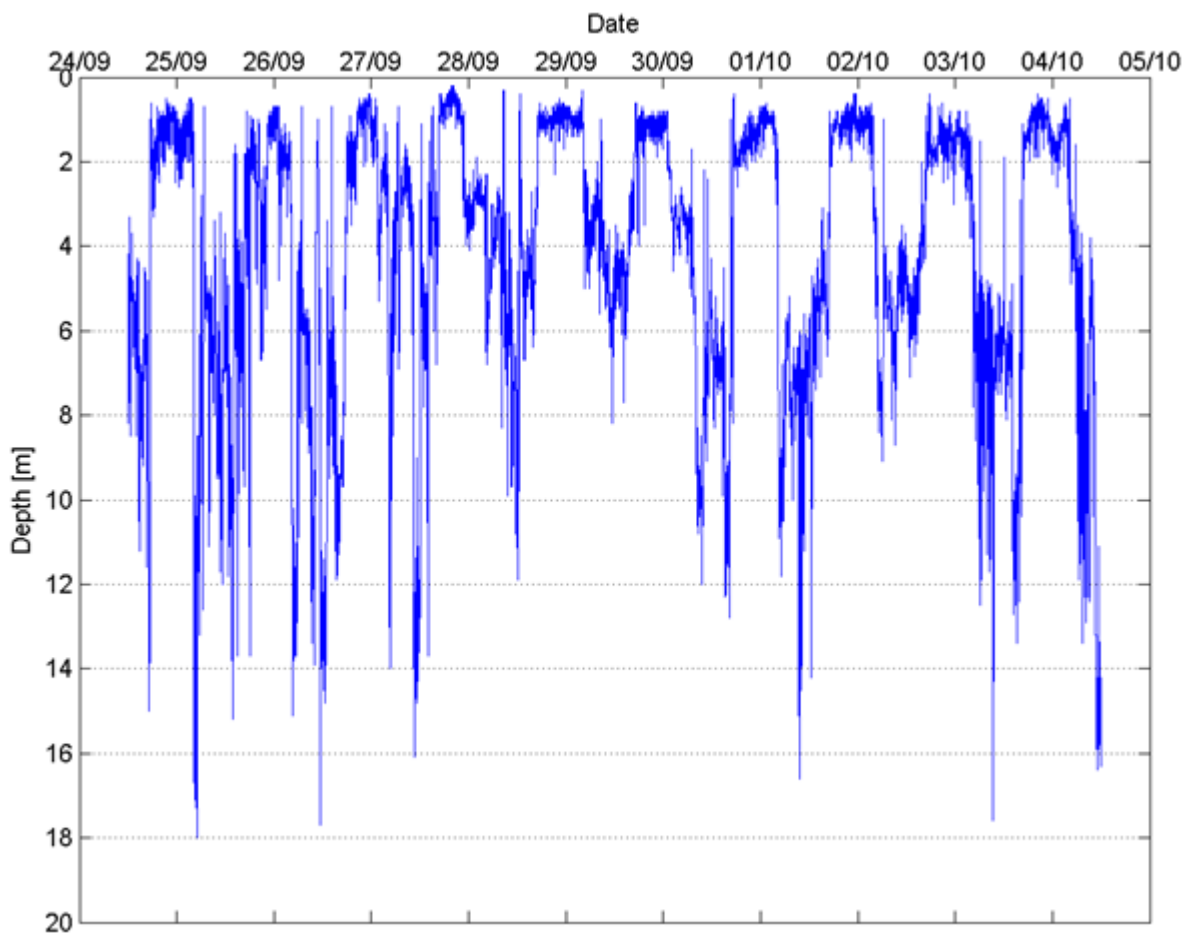
desember 2009. Disse testene bekreftet godt samsvar mellom analoge og digitale pustedata både i forhold til normalregistreringer og ved responser til stress. Resultatene fra disse testene ble så bearbejdet og benyttet for optimalisering av STd programmeringen, og 20 stk. STd for bruk i delprosjekt 3 ble bestilt.



Figur 21 Eksempel på pustedata for laks i kar ved påført vannstopp ved Havbruksstasjonen i Tromsø's fiskehelselaboratorium. Kurvene viser endringer i pustefrekvens målt med analog SmartTag (STa, lilla kurve), og pustefrekvens (rød kurve) og pusteintegral (grønn kurve) målt med digital SmartTag (STd). Separate registreringer av endringene i karetts oksygeninnhold er også gitt (blå kurve). Vi ser at nedgangen i oksygeninnhold gir markert økning i pustefrekvens og -integral, inntil vanntilførsel åpnes og oksygeninnhold og pusteverdier normaliseres.

Uttesting av dybdemerker og STd's snapp-funksjon (FEEDTAG-samarbeid)

Det er gjennomført kontinuerlige målinger på individuelle fisk i liten merd som del av FEEDTAG samarbeidet. I disse forsøkene ble enkeltfisk merket med indre dybdemerke (implantert i bukhole), ytre akselerasjonsmerke eller ytre SmartTag merke med trykksensorslange i oktober eller november 2009. Alle merkene ble produsert av Thelma Biotel AS. Forsøkene hadde en varighet på inntil 7 uker. Selve merkingen og fiskenes rekonvalens fungerte tilsynelatende godt, og merkene fortsatte å sende data hele perioden. For et av 6 stk ytre SmartTag-merker var det etter ca 4 uker mistanke om at sensorslange var løsnet uten at dette kunne fastslås (gjefangst ikke mulig da de var overført til merd med 8000 laks). Vi hadde imidlertid forhøyet dødelighet hos merkede fisk sammenliknet med umerkede kohabitanter i eksperimentperioden. Dette syntes ikke å være knyttet til merketype (i.e. indre vs ytre merke) og vi mistenker at fiskene ikke var i tilfredsstillende kondisjon til å tåle håndteringen og anestesen forbundet med merkeprosedyrene. Denne problemstillingen vil vi undersøke nærmere i nye forsøk i 2010.



Figur 22 Eksempel på vertikalatferd hos oppdrettslaks (ca 3,5 kg) merket med akustisk dybdemerke fra Thelma Biotel AS over en 10-dagersperiode fra 24. september til 4. oktober 2009 ved Sjøanlegget til Havbruksstasjonen i Tromsø. Merden var en 12 m X 12 m kvadratisk merd med 15 m dyp (+5 m bunnpyramide) og inneholdt ca. 8000 laks av relativt lik størrelse.

3.3 Delprosjekt 3: Samkjøring av teknologiene

Kommunikasjon STd - database

Digitaliseringen av SmartTag har gjort at dataene fra STd kan hentes inn i Velferdsmeter-systemet og således inngå i en Velferdsmeter-SmartTag totalløsning (j.f. kapittel 3.1.3 og 3.2.1).

Test i kommersiell merd ved Bjørøya Fiskeoppdrett AS

I henhold til målsetningene skulle det gjennomføres innledende undersøkelser med sammenholdte miljø- (Velferdsmetersystemet) og fiskedata (SmartTag-systemet) ved Bjørøya Fiskeoppdrett AS fra og med april 2009. Dette forutsatte ferdigstilling av vellykket teknologiutvikling i delprosjektene 1 og 2. Som det fremgår av kapittel 3.1 og 3.2 ovenfor ble imidlertid begge disse delprosjektene betydelig forsinket, med det resultat at disse

undersøkelsene ikke var mulig å gjennomføre. Disse forsøkene vil imidlertid bli gjennomført som del av NFR/FHF-prosjektet WELFARE TOOLS i løpet av 2010.

3.4 Kommersialiseringspotensiale

Teknologioverføringsbedriftene TTO Nord AS i Tromsø og BTO AS i Bergen har vurdert at prosjektet omfatter følgende kommersialiseringsobjekter:

1. SmartTag (system for registrering og varsling av fiskens pustemønster, indikator for fiskens velferd/stressnivå)
2. Velferdsmeter (system for detaljert registrering av fiskens ytre oppdrettsmiljø, spesielt vannparametre)
3. Totalsystem (system for overvåking av oppdrettsmiljø og fiskevelferd i oppdrettsmerder med SmartTag og Velferdsmeteret som hovedkomponenter)

De ulike løsningene vurderes å ha følgende anvendelsesområder:

- *Dokumentasjon/logging* av fiskevelferd, vannmiljø
- *Overvåking og varsling* om unormale tilstander, eks. stressnivå, kritiske verdier for vannmiljøet
- *Registreringsenheter* som grunnlag for *forskning/studier* av ytre miljøfaktorer som påvirker fiskens stressnivå, velferd, helse, sykdom, vekst, kvalitet
- *Verktøy for overvåking, varsling, styring og dokumentasjon* av oppdrettsprosessen i *kommersielle oppdrettsanlegg*

TTO Nord AS har i prosjektperioden bidratt til å avklare rettighetsforholdene omkring SmartTag-systemet. Nofima Marin AS og Thelma Biotel AS har gjennom skriftlig avtale blitt enige om at Thelma Biotel AS har rettighetene til selve teknologien i enhetene de produserer (sensor, programvare, dataoverføring, datapresentasjon), mens Nofima Marin AS har rettighetene til anvendelse av teknologien for måling av respirasjon og fôrinntak hos fisk, inklusive som indikator på stress og velferd. TTO Nord AS har videre også gjort innledende undersøkelser angående marked for SmartTag, men avventer videre undersøkelser når resultatene fra videreutviklingen og utprøvingen av SmartTag, både separat og sammen med Welfaremeteret foreligger. Når den separate utprøvingen av SmartTag foreligger og resultatene er gode nok, kan SmartTag-systemet i praksis selges som en separat løsning for kommersielle anlegg. Systemet vil raskt kunne varsle oppdretteren når det oppstår unormalt stressnivå hos fisken i merden. Dette gir oppdretteren mulighet for å gjennomføre ytterligere undersøkelser om årsakene til fiskestresset og å gjennomføre nødvendige tiltak for å løse det oppståtte problem (for eksempel flytte fiskene eller merden, boble inn luft, øke vannstrøm med strømsettere, bytte nøter, medikamentell behandling, eller slakte ut før det oppstår sykdom eller dødelighet). TTO Nord AS vil bistå Nofima Marin i denne

kommersialiseringsprosessen. I tilknytning til FHF-prosjektet og i samarbeid med Thelma Biotel og NTNU utvikles også fôrintaksfunksjonen for SmartTag-systemet ("spike-registreringer"). Kommersialisering av fôrintaksfunksjonen må følgelig sees i sammenheng med kommersialiseringen av SmartTag-systemet forøvrig.

BTO har arbeidet fram en lisensavtale med industrien. Den ble signert september 2009 og samler bidrag fra industrigruppen bestående av Argus Remote Systems AS (salg, markedsføring, support, leveranse), SAIV AS (sensorikk og kommunikasjon) og STM Maskinering AS (bøye, vinsj med styresystem). Rolleavklaringer, ansvar, rettigheter, vederlagsfordeling og utviklingskostnader er avklart i avtalen. Den er ikke-eksklusiv, noe som var et ønske fra alle parter. Dette for å kunne opptre i andre samarbeidsformer eller kunne levere selvstendig uten bindinger til andre. For Welfaremeteret er det viktig å være åpen for å motta data fra alle typer systemer med relevant datafangst. Formålet er å regulere en komplett leveranse med bøye og sensorikk tilknyttet ekspertsystemet til IMR. Det er dette konseptet som har fått navnet Velferdsmeter. Det er søkt varemerkebeskyttelse på navnet som eies av IMR. Det arbeides også med produktifisering og plan for markedskommunikasjon og salg. Det designes en logo og profil til Welfaremeter i disse dager.

Før kommersialisering av totalsystemet, må det gjennomføres ytterligere samkjøringsforsøk mellom SmartTag og Velferdsmeteret. IMR ønsker å utvide sitt ekspertsystem til å ta i mot datafangst fra ulike kilder. Straks SmartTag beskrives med ønskede datatyper vil dette implementeres. Dette vil et utvidet og spennende grunnlag for dataanalyse. Dette vil bli gjort i det Forskningsrådsfinansierte samarbeidsprosjektet mellom Havforskningsinstituttet og Nofima Marin AS.

4 Oppsummering og konklusjoner

4.1 Velferdsometersystemet

Målet med denne delen av prosjektet var å utvikle en profilerende målesonde med tilhørende flåte som kunne utplasseres i store ringmerder. I samarbeid med utstyrsprodusentene (SAIV AS, STM maskinering AS og Argus Remote Systems AS), har det via ulike prototyper blitt utviklet en stakebøye med en kuppel som inneholder en spesialkontruert programmerbar vinsj, en webserver, en mikrokontroller, og radiokommunikasjon med måleinstrumenter, samt en ny modell av CTD-sonden som kommuniserer med svært lavt batteriforbruk. Videre er det utviklet programvare for innhenting av data til Norsk Marint Datasenter ved Havforskningsinstituttet, samt analyse av disse og presentasjon på nettside. Nettsiden har også muligheter for manuell innlegging av data fra oppdretter. En tidligere protoyp av Velferdsometersystemet har blitt testet over lang tid i Austevoll, og en refereansesonde med tilsvarende kommunikasjonssystem har vært utplassert ved Bjørøya Fiskeoppdrett i Flatanger i 7 mnd, og begge har vist seg å fungere godt. Produksjon og testing av stakebøyeversjonen har tatt noe lengre tid enn forutsatt, men vi har nå fått utviklet et produkt som vil bli kommersielt tilgjengelig og som kan testes og sjekkes via nettet, samt at kuppelen lett kan løses fra bøyen og sendes på service. Dette arbeidet vil nå bli videreført i 2010 i NFR/FHF prosjektet Welfare Tools, hvor også et nytt ekkolodd som er utviklet ved Universitetet i Oslo blir koblet opp mot systemet for å måle hvor fisken står i merdene. Videre vil vi legge til rette for å hente inn data fra SmartTag systemet (se nedenfor), og videreutvikle programvare for mottak og analyse av data. Utplassering og testing ved Bjørøya Fiskeoppdrett planlegges oppstartet i mars 2010 og vil pågå ut året.

4.2 SmartTag-systemet

Målsetningene med dette delprosjektet var å utvikle en miniatyrisert og digitalisert utgave av SmartTag-systemet (SmartTag-digital; STd). Når dette var utført skulle det tilpasses bruk på laks og gjennomføres enkel uttesting for å verifisere at det digitaliserte systemet gir gode og pålitelige målinger. Digitaliseringen av SmartTag systemet og tilpasning av festemetode for merke og sensorslange ble utført i henhold til tidsplanen, men enkel uttesting i kar og i små merder viste at STd prototypenes automatiske prosessering ga variable data som ikke samsvarte tilstrekkelig med kontrolldata registrert samtidig med analoge SmartTag på de samme individene. Det ble derfor nødvendig med mer omfattende uttesting og omprogrammering av STd-teknologien før man i november/desember 2009 hadde på plass et STd-system som ga verifiserte måleverdier for bruk på laks. Det nyutviklede STd-systemet består av et miniatyrisert og digitalisert elektronisk merke som festes til enkeltfisk og måler pustefrekvens og pusteintegral (et mål for pustevolumer) som indikatorer på fiskenes velferd og stressnivå. I tillegg registrerer merket store, plutselige trykkendringer som indikator på snapping av fôr (i.e. fôrintak). Merket registrerer og prosesserer disse måleparametrene kontinuerlig, og sender ut de ferdig prosesserte måledataene akustisk som digitale informasjonspakker. Informasjonspakkene fanges opp via en hydrofon til en akustisk mottaker for digitaliserte data, hvoretter de vises og lagres på en PC. I tillegg til utviklingen

av STd-systemet ble det også gjennomført uttesting av dybdemerker og bruk av SmartTags for måling av fôrinntak som del av et samarbeid med det NFR-finansierte prosjektet FEEDTAG. Viktige utfordringer i den videre utviklingen av STd for bruk på laks i oppdrett er a) utprøving av en indre tag (f.eks. i bukhulen med sub-kutan sensor) som tåler større fiskevekst og batteripakke for langtidsmålinger, b) kalibrering av integral mot faktiske ventilasjonsvolumer og fiskenes oksygenforbruk og c) kunnskap om normalvariasjoner (temperatur og aktivitet) og ulike stressorer som lakselus, sykdom og oksygenmetning.

4.3 Integrrert totalsystem

Integreringen Velferdsmeter-systemet og SmartTag-systemet og uttestingen av disse som et totalsystem for overvåking av fiskevelferd i kommersiell oppdrettsmerde ble ikke mulig da teknologiutviklingen for hvert av delsystemene ikke ble ferdig før helt i slutten av prosjektperioden. Dette vil derfor bli gjennomført som del av det oppfølgende NFR / FHF-finansierte forskningsprosjektet WELFARE TOOLS.

4.4 Kommersialiseringspotensiale

Teknologioverføringsbedriftene TTO Nord AS og BTO AS har gjort innledende vurderinger av kommersialiseringspotensialet til de teknologiske løsningene som er utvikles i dette prosjektet, samt bistått med inngåelse av avtaler og tilrettelegging for fremtidig kommersialisering. Deres vurdering er at både Velferdsometersystemet, SmartTag-systemet samt en integrert totalløsning av begge systemene synes kommersialiserbart. Nå avventes videre undersøkelser til resultatene fra videreutviklingen og utprøvingen i kommersiell oppdrettsmerde foreligger.

4.5 Konklusjon

Det er i dette prosjektet gjennomført teknologiutvikling av måleverktøy for å studere og skaffe kunnskap om sammenhengen mellom miljødata og fiskevelferd. Gjennom denne teknologiutviklingen er Havforskningsinstituttets Velferdsmeter-system for måling og analyse av merdmiljø og NOFIMAs SmartTag-system for å måle velferd og stress hos fritt svømmende enkeltfisk videreutviklet, slik at de nå er klare for innledende uttesting som et totalsystem for overvåking og dokumentasjon av oppdrettsmiljø og fiskevelferd i et kommersielt oppdrettsanlegg. Denne uttestingen samt videre grunnleggende forskningsarbeid vil følges opp i det NFR- og FHF-finansierte prosjektet WELFARE TOOLS (NFR # 190475/S40) i løpet av 2010.

4.6 Perspektiver

I takt med økende produksjon, større produksjonsenheter og effektivisering av arbeidskraft vil oppdrettsnæringen få et økende behov for automatiserte målesystemer som kan varsle oppdretteren tidlig ved begynnende dårlig fiskevelferd, som kan dokumentere at

oppdrettsfiskene har hatt gode forhold, og som kan brukes som verktøy for optimalisert produksjon og utføring. På samme måte som behovet for slike målesystemer ses på i et langsiktig perspektiv må også utviklingen av disse systemene være langsiktig. Utviklede systemer bør tidlig testes ut i oppdrettsanlegg der resultater og grunnleggende problemstillinger må undersøkes og verifiseres i eksperimentelle studier og således danne grunnlaget for fremtidens oppdrettsteknologi.



ISBN 978-82-7251-742-6 (trykt)
ISBN 978-82-7251-743-3 (pdf)
ISSN 1890-579X