

A23939 - Åpen

Rapport

Resultatrapport for BILAT-Escape prosjektet

193635 Research tools for net deformation and distribution of fish in commercial scale aquaculture research facilities (BILAT Escape)

Forfatter

Pål Furset Lader

Rapport

Resultatrapport for BILAT-Escape prosjektet

193635 Research tools for net deformation and distribution of fish in commercial scale aquaculture research facilities (BILAT Escape)

EMNEORD:

Fullskala

Blateralt

VERSJON

2.0

DATO

2013-01-24

FORFATTER(E)

Pål Furset Lader

OPPDRAGSGIVER(E)

Norges Forskningsråd

OPPDRAGSGIVERS REF.

Kjell Emil Naas

PROSJEKTNR

840286 / 6020220

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

9

SAMMENDRAG

Overskrift sammendrag

SINTEF Fiskeri og havbruk har vært prosjektleder for et Bilateralt forskningsprosjekt finansiert av Norges forskningsråd: *193635 Research tools for net deformation and distribution of fish in commercial scale aquaculture research facilities (BILAT Escape)*. Prosjektet startet i 2009, og ble avsluttet i 2013. Prosjektets eier var Acuaculture Engineering AS (ACE). University of New Hampshire (USA) og United States Naval Academy (USA) var internasjonale forskningspartnere, og SalMar AS, Fugro OCEANOR AS og NORTEK AS var norske industripartnere. Denne rapporten beskriver gjennomføringen og resultatene av prosjektet.

UTARBEIDET AV

Pål F. Lader

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Arne Fredheim

SIGNATUR

GODKJENT AV

Jostein Storøy

SIGNATUR

RAPPORTNR

A23939

ISBN

978-82-14-05567-2

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2013-01-18	Preliminært notat før kvalitetssikring.

2.0	2013-01-24	Endelig rapport etter kvalitetssikring.
-----	------------	---

Innholdsfortegnelse

1	Innledning/bakgrunn	4
2	Prosjektgjennomføring	5
2.1	Fase i) Innledende arbeid	5
2.2	Fase ii) Valg av løsning/teknologi	5
2.3	Fase iii) Prototype testing	6
2.4	WP4. Protocols	7
3	Resultatbeskrivelse	7
3.1	Ressursbruk	7
3.2	Måloppnåelse	7
3.3	Bilateralt samarbeid	8
3.4	Nytteverdi	8
4	Publisering: Artikler, rapporter og presentasjoner	9
4.1	Journalartikler (3)	9
4.2	Interne prosjektrapporter (4)	9
4.3	Konferansepresentasjoner (4)	9

BILAG/VEDLEGG

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

1 Innledning/bakgrunn

Fra prosjektsøknaden:

Primary objective: Develop full-scale measurement as a tool for commercial scale test facilities to document the performance of new technology regarding escapement.

Sub-objectives:

1. Net measurements: Develop full-scale measurement techniques for real-time monitoring of deformation, strain and stress in a net structure.

2. Fish distribution measurements: Develop full-scale measurement techniques to determine fish distribution and behaviour.

3. Protocols: Develop protocols for full-scale measurements of cage response, fish distribution and environmental monitoring.

Hovedmålet med dette prosjektet har vært å utvikle måleteknikker som kan brukes på Aquaculture Engineering AS (ACE) fullskala testanlegg for å måle notas deformasjon, krefter i notstrukturen, samt oppførsel og distribusjon av fisk i merden. Den overliggende motivasjonen var å forbedre verktøyene som er til rådighet for leverandører av oppdrettsanlegg slik at disse anleggene kan forbedre sin rømmingssikkerhet. En av de aller viktigste grunnene til rømming av fisk fra oppdrettsanlegg i Norge er hull i not, og dette var årsaken til at det ble valgt å sette så stort fokus på målinger av oppførselen til nota. En annen årsak var at det ikke fantes gode metoder for å gjøre slike målinger i fullskala, og forskningshøyden i prosjektet var derfor god.

Prosjektet hadde fire arbeidspakker: WP1 *Net deformasjon*, WP2 *Stress/strain/breakage*, WP3 *Fish distribusjon* og WP4 *Protocols*. De tre første arbeidspakkene, WP1 til 3, var utvikling av tre målemetoder, og hver av disse arbeidspakkene besto i hovedsak av tre faser: i) Forstudium, ii) Valg av løsning/teknologi, iii) Prototypetesting. Her var den siste fasen, prototypetesting, felles for alle de arbeidspakkene der måleutstyret ble uttestet over en periode på 6-8 måneder ved ACE sitt forsøksanlegg. I WP4 ble det laget en beskrivelse av de rutinene man må følge for å få gode målinger når man gjør in-situ fullskala målinger. Fokus her var hvordan man håndterer måling av bølger og strøm. Denne arbeidspakken ble gjennomført mer eller mindre uavhengig av de andre tre.

Prosjekteier var ACE AquaCulture Engineering (ACE), og SINTEF Fiskeri og havbruk (SFH) har hatt prosjektledelsen. I tillegg besto konsortiet av to amerikanske forskningspartnere; University of New Hampshire (UNH) og United States Naval Academy (USNA), samt tre norske industripartnere; Salmar AS, Nortek AS og Fugro Oceanor AS.

ACE er et selskap som tilbyr storskala infrastruktur med anlegg, lokaliteter og personell til forskning, utvikling og uttesting av teknologi og utstyr. ACE har et nært forhold til SFH, og ACE og SFH har samarbeidet om en rekke forskningsprosjekt. Samarbeidet mellom ACE og SFH var utgangspunktet for prosjektet.

SFH har gjennom flere år opparbeidet et nært samarbeid med både USNA og UNH, og det var naturlig å trekke disse partnerne med i prosjektet pga. deres kompetanse og ressurser innen fullskalatesting og laboratorieforsøk. UNH har inntil nylig hatt et eget offshore fullskala testanlegg for havbruk som ligger ca. 10 km utenfor kysten av New Hampshire, og UNH innehar mye kompetanse på drift av, og forskning på fullskala anlegg. UNH har også innendørs hydrodynamiske forsøksstanker som var viktig for gjennomføringen av prosjektet, samt at de har mulighet til å gjøre småskala forsøk med fisk i merd. USNA har laboratoriefasiliteter som inneholder slepetank og andre laboratorier som ble benyttet i prosjektet.

Salmar AS hadde driftsansvar for forsøkskonsesjonene til ACE, og de gikk inn i prosjektet med egeninnsats i form av drift av anlegg og hjelp til infrastruktur, bruk av båt etc. Fugro OCEANOR var leverandør av bølgebøye (SEAWATCH Midi 185), samt bølgemodellering av bølgeforholdene på testanlegget (Mørk, 2012). NORTEK leverte strømmålere (AWAC og ADCP) til prosjektet, og bisto i forbindelse med utsett, installasjon og drift av dette utstyret.

2 Prosjektgjennomføring

Overordnet ble prosjektet delt i to organisatoriske deler; en forskningsdel og en industridel. Dette var naturlig i forhold til oppgavene de forskjellige partnerne hadde, og var også motivert utfra ansvarsfordelingen mellom prosjekteier ACE og prosjektleder SFH. ACE hadde hovedvekt på oppfølging av industripartnerne da disses oppgaver gikk direkte inn mot selve infrastrukturen til deres fullskala testanlegg (SalMar: Drift av anlegget, OCEANOR: Bølgebøye og modellering, NORTEK: Strømmålinger). SFH hadde oppfølging av forskningspartnerne.

Prosjektet var som beskrevet tidligere delt inn i fire arbeidspakker (WP1 *Net deformasjon*, WP2 *Stress/strain/breakage*, WP3 *Fish distribusjon* and WP4 *Protocols*), der de tre første arbeidspakkene var utvikling av tre målemetoder, mens den siste arbeidspakken skulle gi beskrivelse av de rutineene man må følge for å få gode målinger når man gjør in-situ fullskala målinger, spesielt med tanke på hvordan man håndterer måling av bølger og strøm. Hver av de tre første arbeidspakkene besto i hovedsak av tre faser: i) *Forstudium*, ii) *Valg av løsning/teknologi* og iii) *Prototype testing*. På grunn av prosjektets beskaffenhet er det naturlig å beskrive gjennomføringen av de tre første arbeidspakkene i forhold til disse fasene.

2.1 Fase i) Innledende arbeid

I arbeidspakkene WP1-3 startet arbeidet med å finne grensebetingelsene for hva som skulle måles. Hvor mye kan det antas at nota deformerer seg, hvor store krefter kan det forventes? Det ble spesielt lagt mye arbeid i et numerisk forstudium på deformasjoner og krefter/spenninger i et fullskala industriell merd som utsettes for de sjøbelastningene man kunne forvente seg på testanlegget. UNH gjorde hoveddelen av dette arbeidet, og dette resulterte i en rapport (DeCew, 2010) der disse beregningene ble presentert. Denne rapporten ble utstrakt brukt i resten av prosjektet.

2.2 Fase ii) Valg av løsning/teknologi

Da disse grensebetingelsene var etablert begynte arbeidet med å finne mulige teknikker for å gjennomføre målingene. Det ble ganske tidlig i denne fasen pekt på et eksisterende system levert av Hydroacoustic Technology Inc. (HTI) for å spore fisk som UNH har brukt på sin offshore testanlegg. HTI systemet var i utgangspunktet lagt for å spore fisk i elver, og baserte seg på å feste en akustisk sender på fisken, og så bruke et sett med fire hydrofoner til å bestemme senderens posisjon til enhver tid. UNH hadde brukt dette systemet med godt resultat, og SFH hadde også ganske nylig kjøpt et slikt system. Det ble foreslått at dette systemet kunne bli brukt både til å måle fiskens oppførsel (WP3), samt også nettets deformasjon (WP1) ved å plassere sendere på utvalgte steder på nettet. Dette ble sett på som en så stor fordel at det ble besluttet å gå videre med å bruke HTI systemet for både netdeformasjon og fiskeoppførsel. På grunn av dette ble den første fasen av prosjektet sterkt forenklet og ressurser ble spart som senere skulle vise seg å komme godt med når prototypetestingen begynte. Det ble bestemt at UNH skulle bygge en liten merd der HTI systemet skulle evalueres. Akustiske sendere ble plassert både på den fleksible notposen og i et utvalg fisk. Dette arbeidet viste at HTI systemet fungerte som ønsket, og at det på denne lille merden var mulig å måle både netdeformasjon og fiskeoppførsel (Chambers et al., in preparation. and DeCew et al., in preparation).

I WP2 ble det ved SFH arrangert en rekke workshoper/brainstorming med mål om å komme fram til mulige teknikker for å måle spenning/krefter i nettet. Etter å ha vurdert flere alternative løsninger ble det besluttet å

benytte en enkel løsning som besto av to kraftmålere som kunne plasseres mellom to og to punkt på nettet. Et stort problem med å gjøre slike målinger i en nettstruktur er at tilstedeværelsen av selve måleinstrumentet er med på å påvirke målingene, og at denne påvirkningen er avhengig av spenningene på tvers av måleretningen. Det er derfor nødvendig å gjøre målinger av spenninger langs begge trådretningene for å kunne få et godt resultat. Videre var det nødvendig og kalibrere begge kraftmålerene i forhold til innfestningspunkt og notgeometri slik at effekten av selve kraftmåleren kunne elimineres fra målingene. For å gjøre disse kalibreringene ble det ved USNA bygget en egen rigg der det var mulig å ha full kontroll på hvilke spenninger man har i et lite nettelement (50x50cm). Det ble med denne riggen gjort et stort antall tester med forskjellige notmateriale, inspenningsgeometrier og spenningskombinasjoner, og disse målingene utgjorde så et kalibreringssett som måtte brukes sammen med måleutstyret når man gjorde målinger av kreftene i nota på en merd in situ. Dette arbeidet er beskrevet i mer detalj i Fredriksson (in preparation).

2.3 Fase iii) Prototype testing

Prototypetestingen er i detalj beskrevet i en intern prosjektrapport (Frank, 2013).

Prototypetestingen ble foretatt vinteren 2011 til sommer 2012 på ACE sitt testanlegg på Tristeinen. Opprinnelig plan var å ha utsett av utstyret i løpet av sensommer 2011 (i forbindelse med utsett av fisk) og la det stå ute til tidlig vår 2012. Utsett av fisk ble forskjøvet av praktiske årsaker, og ble ikke foretatt før oktober 2011. Utsett av utstyret ble dog mer forsinket grunnet dårlig vær i november og desember 2011, og første utsett av utstyr ble ikke gjennomført før sent i desember. Pga utsettets beskaffenhet var det også nødvendig å benytte ekstern dykkerassistanse, og dette viste seg vanskelig å koordinere, noe som førte til ytterligere utsettelser. Det var nødvendig å ha mye utstyr stående på merdkanten, og dette utstyret måtte skjermes for vannsprut. Dette viste seg å være problematisk, og utstyret måtte ved flere anledninger demonteres og taes med til land for tørking, feilretting og bytte av komponenter. Det var også en betydelig mengde kabler fra sensorer til loggeutstyr på merden, og disse kablene ble ved flere anledninger skadet slik at de måtte byttes. Dette stjal også tid, da feilsøking etter kabelbrudd kan være vanskelig og tidkrevende. Lastcellene og HTI systemet var ikke operasjonelt før i mai 2012, og det ble da satt i gang med merking/tagging av fisk.

I tillegg til instrumenteringen på merda var det av Fugro OCEANOR også satt ut en bølgebøye på anlegget, og det ble foretatt bølgesimulering av området. Dette er beskrevet i detalj i en prosjektrapport (Mørk, 2012). Det var også utplassert akustiske strømmålere fra Nortek.

Prototypetestingen ble avsluttet i juni 2012.

I løpet av prototypetestingen utkrystalliserte det seg to hovedproblem:

- 1) Biomassen i anlegget var av industriell størrelse, altså veldig mye større enn testanlegget som ble brukt under forsøkene ved UNH. Dette førte til at de akustiske signalene fra taggene i fisk og på anlegget ikke nådde fram til alle de fire hydrofonene som ble brukt. For å bestemme posisjonen til ett tag er det nødvendig at alle fire hydrofoner plukker opp signalet. Det viste seg derfor at HTI systemet slik det var konfigurert ikke var ikke i stand til å gjøre målinger på et anlegg av industriell størrelse. Selve måleprinsippet er adekvat, men det fordrer andre konfigurasjoner, annen plassering av hydrofoner, sterkere signal eller lignende.
- 2) Det viste seg at miljøpåkjenningene ute på anlegget var så harde at mye av det utstyret som ble brukt feilet ofte. Det var problematisk å finne skap som kunne stå i sjøsprøyten på merdkanten, og samtidig holde komponentene tørre. Det var også vanskelig å finne lastceller for det relevante måleområdet som kunne overleve lengre enn et par dager ute på anlegget. Det ble prøvd lastceller fra flere leverandører, men det var ikke mulig å finne komponenter som var robuste nok.

Ingen av disse problemene var forutsett før prototypetestingen startet. Testene fra UNH viste at HTI systemet fungerte tilsynelatende godt for det formålet som var ønsket, og det var ikke vurdert at signalstyrken skulle være et problem ved høyere biomassetetthet. Det var også forutsatt at det var mulig å finne leverandører av skap og komponenter som var robuste nok til formålet.

2.4 WP4. Protocols

Arbeidet med WP4 startet omtrent umiddelbart etter at prosjektet var initiert, og strakk seg over mesteparten av prosjektperioden. Arbeidet besto i en blanding av litteraturstudium samt gruppearbeid/brainstorminger, og besto i hovedsak av å sette sammen eksisterende kunnskap og erfaringer funnet fra litteraturen og fra SFHs og ACEs medarbeidere. Arbeidet resulterte i en intern rapport (Volent, 2012). Arbeidet ble ressursmessig kjørt etter plan.

3 Resultatbeskrivelse

3.1 Ressursbruk

De tre første arbeidspakkene (WP1 til WP3) skulle som nevnt utvikle tre målemetoder for fullskala målinger og disse tre arbeidspakkene besto av tre faser. I hovedsak ble budsjettet fulgt, men den opprinnelige planen ble forskjøvet omtrent et halvt år på grunn av problemer med inngåelse av kontrakt og konsortieavtale med USNA. Det viste seg at USNA ikke kunne motta midler fra "en fremmed stat" uten videre, og dette ble løst med at midlene ble ført gjennom UNH. Dette fikk ingen konsekvenser for selve prosjektgjennomføringen utover utsettelsen i startfasen.

I forbindelse med fase ii) *Valg av løsning/teknologi* ble det gjort valg som gjorde at ressursbruken i denne fasen ble mindre enn forutsett (blir beskrevet i 2.2). Dette førte til at prosjektet lå betydelig foran budsjett ved inngangen til den avsluttende fase iii) *Prototypetesting*. Dette viste seg å være bra, da prototypetestingen av forskjellige grunner ble mye mer krevende enn forutsett (blir beskrevet i 2.3).

De utenlandske forskningspartnerne UNH og USNA mottok omtrent 30% av forskningsmidlene i prosjektet, og dette må sies å være riktig fordeling i forhold til arbeid og leveranser. UNH var hovedansvarlig for de innledende studiene av deformasjon og krefter i not, og gjennomførte også en større in-situ undersøkelse som involverte bygging av en småskala merd (50 m³) med 200 fisk. USNA bidro med laboratoriefasiliteter og personell ved uttesting av krefter i not. UNH hadde hovedforfatterskap på to vitenskapelige artikler (DeCew et al., in prep. and Chambers et al., in prep.), og UNH på en (Fredriksson et al., in prep.). Disse artiklene forventes sendt til review i løpet av første kvartal 2013.

3.2 Måloppnåelse

Prosjektets mål var å utvikle målemetoder som kunne brukes på fullskala studier, med formål at ACE kunne bruke disse metodene i forbindelse med oppdrag/prosjekt i sin fullskala testanlegg.

Ved prosjektets avslutning var ingen av de tre målemetodene operative for bruk. Årsaken til dette hadde som beskrevet tidligere to hovedårsaker:

1. Det hydroakustiske systemet (HTI) som ble brukt til å måle notdeformasjon og fiskedistribusjon viste seg å ikke fungere optimalt i anlegg med store biomasse (industriell skala).
2. Lastcellene som ble brukt til å måle kreftene i not var ikke robuste nok, og hadde for stor sammenbruddsprosent i sjøvann.

Erfaringene fra prosjektet tilsier at alle de tre utviklede målemetodene vil fungere tilfredsstillende såfremt disse to problemene løses. Det kan derfor argumenteres for at selv om ingen av de tre målemetodene er operative kan prosjektet sies å ha en tilfredsstillende grav av måloppnåelse. Se også 3.4 **Nytteverdi**.

3.3 Bilateralt samarbeid

Samarbeidet mellom de norske og de amerikanske forskningspartnerne har fungert godt. Utgangspunktet for samarbeidet var et nært forhold mellom forskere ved institusjonene som har vært opparbeidet gjennom flere år. Dette prosjektet var komplekst, og hadde mange forskjellige aktiviteter innen både teknologiske og biologiske felt. Flere av aktivitetene ble gjennomført på begge sider av Atlanteren, og dette har krevd svært god kommunikasjon mellom partnerne. Det viktigste for at dette skulle lykkes var at de involverte forskerne kjente hverandre godt og kunne kommunisere problemfritt på telefon og epost. Det har også vært avholdt felles arbeidsmøter både i Norge og i USA ved flere anledninger (tilnærmet årlig) som har vært viktig for samarbeidet.

3.4 Nytteverdi

- Prosjektet har gitt ACE så vel som SINTEF Fiskeri og havbruk viktige erfaringer på de faglige, tekniske og praktiske utfordringer som er knyttet til måling av krefter som påvirker not og anlegg samt i studier og målinger av fiskens adferd i store merder i industriell skala. Dette er et område hvor selskapet ACE og SINTEF fortsatt gjennomfører mange prosjekter, og hvor kunnskapen fra dette prosjektet har gitt verdifulle bidrag.
- Kunnskap om målemetodikk i tilknytning til samspill mellom miljøkrefter, teknologien og fisken vil også være av betydning for næringsutøverne da dette har betydning for forståelsen av dynamikken og samspillet på lokaliteten.
- Prosjektet har gitt en økt forståelse for bølger i og rundt et havbruksanlegg samt hvordan modelleringer og simuleringer gir en bedre beskrivelse og forståelse av dynamikken på lokaliteten. Dette har betydning ved planlegging, gjennomføring og analyse av prosjekter ACE gjennomfører i industriskalerte anlegg.
- For næringsutøverne kan bruk av modelleringer erstatte de mer upresise vurderinger som ofte gjøres ved planlegging og utlegg av anleggene, da mer presise data for bølger ofte vil redusere kostnader for merder og fortøyninger som følge av mindre eksponeringsgrad.
- Bedre kunnskap om bølge- og strømkrefter som påvirker anlegg og operasjoner vil ha betydning for sikkerheten for personell samt bidra til å redusere rømning ytterligere.
- Resultatene som framkommer fra prosjektet blir direkte benyttet i nye prosjekter i for eksempel utvikling av nye metoder for registrering av fiskens adferd samt testing og dokumentasjon av nye merd- og notkonsepter.
- Resultater blir formidlet gjennom workshop i nye prosjekter og i populærvitenskapelige artikler.

4 Publisering: Artikler, rapporter og presentasjoner

4.1 Journalartikler (3)

Chambers, M., J. Bunker, W. Watson, H. Howell, J. Decew, J. Cranney, C. Rillahan, P. Lader, E. Høy, K. Frank. *Field measurements of steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) distribution, swimming behavior and response to current exposure in a sea cage.* In preparation.

DeCew, J., D. W. Fredriksson, P. Lader, M. Chambers, H. Howell, NN. Osienki, W. Watson, B. Celikkol, E. Høy and K. Frank. *Field Measurements of Cage Deformation using Acoustic Sensors.* In preparation.

Fredriksson, D.W., J. DeCew, P. Lader, Z. Volent, Ø. Jensen and F.V. Willumsen. *An aquaculture net finite element modeling technique with laboratory bench-top measurement validation.* In preparation.

Status for disse tre artiklene pr. januar 2013 er at hovedforfatter har levert ferdig manuskript til revisjon hos medforfattere. Alle artiklene forventes sendt inn til tidsskrift i løpet av første kvartal 2013.

4.2 Interne prosjektrapporter (4)

DeCew, J. (2010) *Net Chamber Deformation and Tensions*, UNH Report.

Volent, Z. (2012) *Protocols for measurements of environmental variables for monitoring of fish farm localities.* SINTEF Report.

Mørk, Gunnar (2012) *Wave simulations Frohavet.* Fugro OCEANOR Report C55274.

Frank, K (2013) *BILAT Escape - Research tools for net-deformation, -forces and distribution of fish in commercial scale aquaculture research facilities - Full-scale test of prototype.* SINTEF Report.

4.3 Konferansepresentasjoner (4)

Frank, K., E. Høy and P. Lader. (2012) *Net Deformation And Fish Distribution Monitoring Systems For Huge Cages*, AQUA 2012, Prague, Czech Republic, September 1-2, 2012.

Frank, K. (2012) *Utvikling av fullskala metoder for sanntids måling av notdeformasjon, krefter i not og fiskedistribusjon.* Havbrukskonferansen 2012, Stavanger, Norway, 16-18 april, 2012.

Fredriksson, D., J. DeCew, P. Lader and Ø. Jensen. (2012) *Development of an aquaculture net finite element modeling technique with laboratory bench-top measurement validation.* Aquaculture Canada 2012, Charlottetown, Canada, May 27-30, 2012.

Chambers, M., J. Bunker, W. Watson, W. H. Howell, J. DeCew, J. Cranney, C. Rillahan, K. Frank, E. Høy and P. Lader. (2013) *Field Measurements Of Steelhead Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Distribution, Swimming Behavior And Response To Current Exposure In A Sea Cage*, Aquaculture 2013, Nashville, USA, February 21-25, 2013.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no