

Følgende tekst er å finne på trykk i Norsk Fiskeoppdrett nummer 2, 2013 som oppsummering etter arbeidet i Exactus.

Hvor mye laks er det egentlig i merden?

Redaktører: Erik Høy, Leif Magne Sunde og Hans Vanhauwaert Bjelland. SINTEF Fiskeri og havbruk
Kontakt: Erik.Hoy@sintef.no

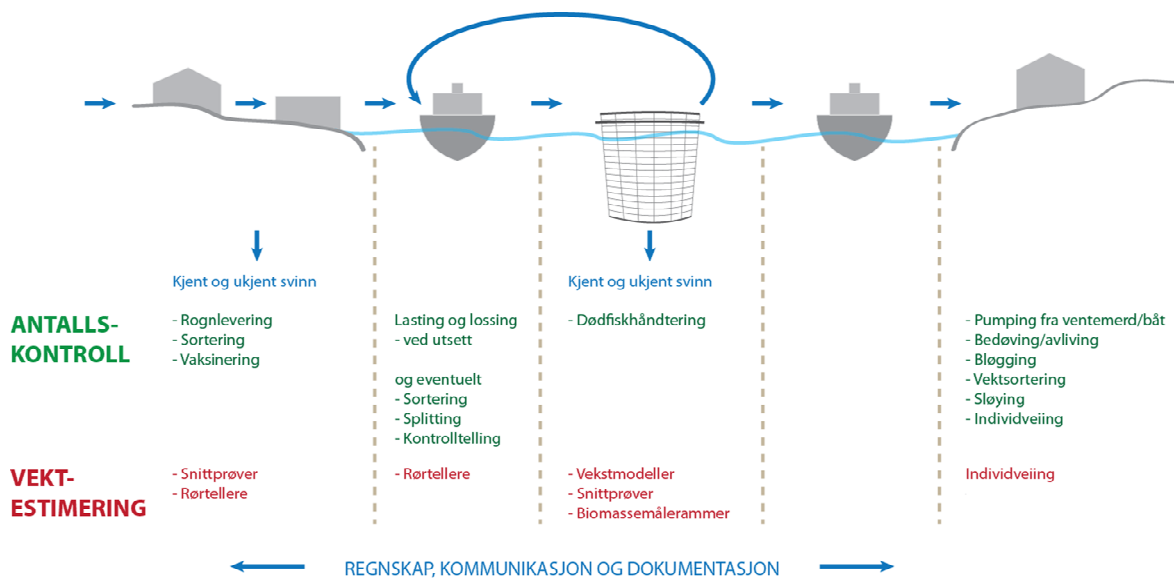
Prosjektet EXACTUS

Prosjektet EXACTUS, med fokus på biomassekontroll, har gått i tre år fra 2010 til og med 2012. De følgende kapitlene i denne utgaven av Norsk Fiskeoppdrett presenterer funn og anbefalinger fra arbeidet. Prosjektet har vært bredt og tverrfaglig sammensatt med representanter fra nærings- og forskningsaktører som dekker hele utfordringen. Finansieringen har også vært et samarbeid gjennom et spleiselag mellom Norges forskningsråd, Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfond og de deltagende partnerne. Oversikt over prosjektdeltakere finnes til slutt i artikkelen og mer detaljer er tilgjengelig på www.sintef.no/EXACTUS.

Hovedmålet for EXACTUS har vært å øke kunnskapen om og utvide det teknologiske fundamentet for bedre biomasseestimering i matfiskanlegg. Biomassekontroll omfatter både snittvekt, vektfordeling og antall, og prosjektet bygger på en visjon om å begrense avvikene i biomassekontroll ned til $\pm 0,1\%$ avvik i antallskontroll og $\pm 1\%$ avvik i snittvekt. Dette har vært utgangspunktet i forhold til vurdering av hvilke typer teknologi og tiltak som har vært behandlet i prosjektarbeidet. Utfordringen har vært bredt undersøkt med forskning som omfatter statistiske analyser av dagens status, utvikling av modellverktøy, ny måleteknologi og bruk av måleteknologi, fiskens adferd i merd og modelleringsverktøy.

Biomassekontroll er viktig

Kontroll med hvor mye fisk som til en hver tid står i merdene er avgjørende for effektiv drift og produktivitet i havbruksnæringen. Biomasse er også avgrensende størrelse i forvaltningen av matfiskproduksjonen i sjø. Mange ledd i produksjonen påvirkes av kvaliteten til beregningene av biomasse: Salgsleddet oppnår bedre pris og kan levere fisken som er lovet; brønnbåt-, slakteri- og transportkapasitet utnyttes bedre; produksjonspotensialet innenfor grensene av maksimal tillatt biomasse (MTB) kan utnyttes bedre; fôringen og fiskens vekstpotensial kan optimaliseres med bedre kontroll slik at produksjonstiden og eventuelt fôrspill reduseres (figur 1).



Figur 1 Biomasseestimering gjennom produksjonssyklusen i lakseoppdrett.

Det er ingen tilgjengelig måleteknologi som kan gi et tilfredsstillende øyeblikksbilde av antallet fisk direkte i en merd. Derfor er dagens antallskontroll basert på telling av fisk i forbindelse med transport eller andre operasjoner der all fisken behandles. Det viktigste punktet er vaksinasjon på settefiskanleggene, deretter telling inn i eller ut av brønnbåt, og senere en løpende kontroll med dødfisk og uttak. Den systematiske journalføringen av disse opplysningene, og rapportering til myndighetene, er også pålagt oppdretterne gjennom Akvakulturdriftsforskriften. Ulike rørtellere og rene tørrstilte tellere (fisken avvannes og fordeles utover en flate) anvendes i transport ved pumping. Det er viktig å understreke at det meste av teknologien som er tilgjengelig i dag kan oppnå tilfredsstillende presisjon under de rette forholdene. Men det er klare feilkilder knyttet til begrensninger ved for eksempel skum og bobler for rørtellere, skeivstilling av tørrtellere, kalibrering og for rask eller ujevn mating av fisk. Mange av avvikene som oppstår kan forklares med at disse grensebetingelsene ikke er dokumentert godt nok, eller ikke blir tatt nok hensyn til i daglig bruk.

På samme måte som for telling, er det i dag ingen tilgjengelig måleteknologi som kan gi et øyeblikksbilde av snittvekt og vektfordeling av hele fiskegruppen i en merd. Under transport er det mulig å estimere vekt og vektfordeling for fiskegruppa med biomassemålere som er basert på avbildning av fisken når den passerer gjennom rør eller spredd utover en flate. Senere, når fisken står i merd i sjøen, er det nødvendig å anslå snittvekt basert på forventet vekst og uttak av mindre veieprøver fra populasjonen. Prøvetaking i merd omfatter både manuelle uttak av fisk, måling av fisk som svømmer gjennom biomasserammer, og andre optiske eller akustiske målinger. En stor utfordring ved alle metodene for prøvetaking er å oppnå representative målinger. I alle populasjoner vil det være spredning i vekst og vekt. Dagens merder har opp mot 200 000 laks og fisken vil alltid til en viss grad fordele seg ujevnt, slik at det ikke er enkelt å ta ut en representativ prøve for vektmåling.

I de følgende kapitlene i denne utgaven av Norsk Fiskeoppdrett blir det presentert et knippe resultater fra EXACTUS som er viktige for næringa. Arbeidet har vært tverrfaglig med flere vinklinger slik at det er naturlig å behandle stoffet inn i ulike kapitler.

Del 1. Bokholderi av beholdning i norske laksemerder

Arnfinn Aunsmo, Eystein Skjerve og Paul J Midtlyng. Norges veterinærhøgskole

Innledning

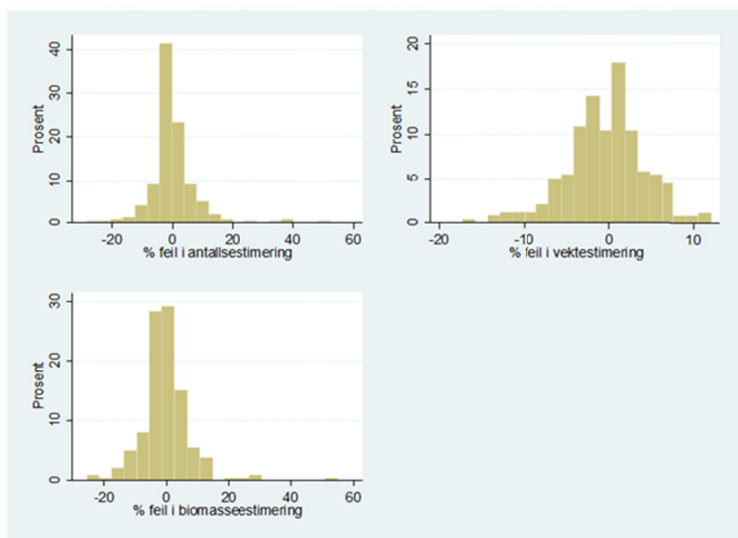
Oppdretterne fører journal over beholdning i merdene hvor antall, total biomasse, snittvekt og delvis spredning i snittvekt følges og daglig justeres. Beholdninga følges fra utsett og til slakt hvor dette «bokholderiet» er lovpålagt og en viktig del av de daglige oppgaver på lokaliteten og i selskapene. Det er utviklet sofistikerte produksjonsstyringsverktøy som FishTalk og AquaFarmer hvor bokholderiet føres og hvor beholdningsrapporter går videre til intern statusrapportering i selskap, det rapporteres biomasse (MTB-rapporter), dødelighet og andre nøkkelopplysninger til det offentlige. Videre brukes tallene i selskapenes overvåking og optimalisering av biologisk produksjon, ved forhåndssalg av laks og ved planlegging og logistikk av slakteprosessen.

Kvaliteten på «beholdningsestimater» er avgjørende for mulige feilkilder og tolking av tallene. De siste år har det vært rettsaker hvor enkeltoppdrettere er anklaget for ikke å overholde biomasse regelverk eller MTB. Regelverket stiller imidlertid ikke mange krav til kvalitet på bokholderiet og det er viktig å utforske hvor nøyaktig det er mulig å gjennomføre et slikt bokholderi innenfor dagens metoder og systemer. En stor laksemerd kan inneholde 200 000 fisk og totalt 1000 tonn biomasse, slik at forholdsvis små feil fort blir store tall.

Aktivitet og funn

I regi av EXACTUS-prosjektet ble det gjennomført en studie hvor data fra 240 slaktede laksemerder ble undersøkt for avvik mellom innmeldt (forventet) antall, total biomasse og snittvekt og reelle tall fra slaktelinja (figur 2). Dataene ble hentet fra anlegg hos Salmar, Lerøy og Marine Harvest i midt-Norge fra perioden 2009-2010. Totalt sett var innmeldt antall nesten likt med slaktet antall, med innmeldt bare 7 425 færre fisk enn de totalt 24 108 483 slaktede fiskene. Det samme gjaldt for total biomasse der det ble meldt inn bare 604 tonn mindre enn totalt 134 608 tonn slaktet biomasse. Enkeltmerder hadde imidlertid betydelige avvik og avvikene fordelte seg jevnt på begge sider av null, og hvor ca 10% av merdene hadde mer enn 10% avvik i estimater av beholdning og halvparten av merdene hadde mer enn 3% avvik i estimat av biomasse. Dette tyder på at presisjonen i beholdningsestimering er lav, men at det ikke er systematiske feil som trekker i en bestemt retning. Den symmetriske fordelingen rundt null indikerer at det er tilfeldige feil som opptrer. Dersom en oppdretter skal legge inn en «sikkerhetsmargin» for å ta høyde for slike feil vil det gi redusert produksjonskapasitet. Den dårlige presisjonen gjør optimalisering på mange viktige områder vanskelig. Høy akkumulert dødelighet gav økt avvik ved slakt med mer slaktet fisk enn forventet. Det tyder på at dødelighet ved sjukdomsutbrudd overestimeres.

Det vises til egen artikkel i dette nummeret av Norsk Fiskeoppdrett og en mer omfattende artikkel som kommer i fagjournalen *Aquaculture* for detaljer fra studien.



Figur 2 Fordeling av prosent feil i estimering av antall, snittvekt og total biomasse ved slaktetidspunktet for 240 laksemerder som inngikk i en studie i EXACTUS-prosjektet.

Del 2. Kan røntgenteknologi brukes til høyhastighets rørtelling?

Odd Løvhaugen, Grégory Bouquet og Trine Kirkhus. SINTEF IKT

Innledning

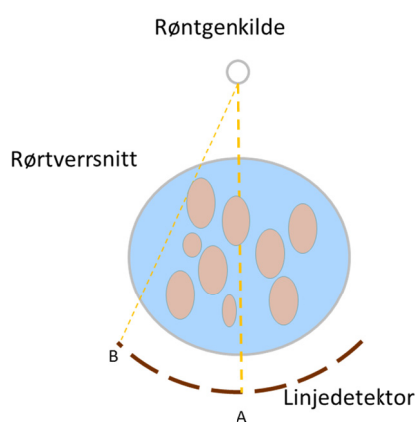
Med dagens løsninger for pumpestyring og mating i rør er det alltid en utfordring for telleteknologien at fisken sjelden kommer helt jevnt fordelt, dvs. en etter en med passelig avstand. I perioder vil det gjerne komme tettere ansamlinger med fisk slik at det blir vanskelig for tellerne å skille enkeltfiskene fra hverandre og telle dem nøyaktig. De fleste tellerne håndterer dette i dag med å estimere antall ut fra totalt dekket overflate. Røntgenstråler derimot, kan trenge gjennom flere lag med fisk på en helt annen måte enn synlig lys eller infrarødt lys (IR). Det er derfor undersøkt i EXACTUS om eventuelle røntgenbaserte tellere kan tilfredsstillе nødvendige krav til tellehastighet, kostnad og operatørsikkerhet.

Det er også andre operasjonsbetingelser som kan være utfordrende for lysbaserte tellere, men der røntgenteknologien kanskje ikke vil være like følsom. For tørrtellere gjelder det da gjerne at kapasiteten til avvanningsystemet overskrides slik at det kommer for mye vann med fisken, eller for fullvannstellere ved at pumpene kan trekke inn luft eller skum som forstyrrer bildene. Kjøring av tellere under slike vanskelige forhold vil gi økt usikkerhet i antall fisk og dermed også usikkerhet i biomasseberegningen.

Gjennom praktiske forsøk, teoretiske beregninger og datasimuleringer er det undersøkt om røntgenavbildning kan brukes som alternativ måleteknologi for en robust høyhastighets fisketeller. Høyhastighet er et krav til en ny metode ettersom dagens lysbaserte teknologi måler med godt resultat under betingelser der fisken ikke kommer for tett og overlappende.

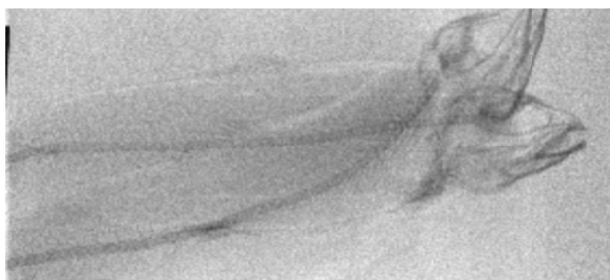
Aktiviteter og funn

For å kunne gjennomføre fysiske tester av røntgenteknologien ble det konstruert et eget røntgenkabinett der vann og fisk kunne beveges med kontrollert hastighet fram og tilbake over måleområdet for røntgensystemet. Flere serier med målinger ble deretter gjennomført, først med fisk i åpne kar og deretter med fisk i en 14 tommer rørseksjon (36cm diameter) som ble beveget forbi sensoren (figur 3). Systemet ble satt opp med klare likhetstrekk til lysgardintellere, slike som rørtellerne fra Vaki eller AquaScan. Før feltforsøkene ble det også gjennomført en mulighetsstudie og teoretiske beregninger for å finne fram til en passende røntgenkilde og mottaker. Røntgenutstyret som ble brukt på laboratoriet har strålingsytelse tilsvarende det som brukes for eksempel på flyplasser for å gjennomlyse bagasje, og medfører dermed ikke spesielt store tiltak når det gjelder skjerming og sikkerhet.



FIGUR 3 Røntgenteller illustrert ved rørtverrsnitt.

Resultatene viser at røntgenkilden og mottakeren kunne justeres inn slik at det ble oppnådd en gjennomtrengningsevne som kan gjøre det mulig å telle overlappende fisk. De ulike fiskenes ryggrad vises klart på røntgenbildet (figur 4), og selv om fiskene overlapper kan de dermed telles basert på forholdsvis enkel og robust bildeanalyse. Dette kan dermed øke tellekapasiteten siden flere fisk kan passere sensoren samtidig.



Figur 4 Røntgenbilde fra forsøk (to ørret på ca 30cm lengde).

Den viktigste begrensingen med røntgen for fisketelling er at strålene dempes av vann. Det vil si at den veilegden strålene kan trenge gjennom i vann er begrenset. Med vårt testoppsett ble det vist at avbildning gjennom 14 tommer (36cm) vannfylt rør er mulig. Dette vil ikke være en begrensning dersom røntgen anvendes i en tørrstilt teller. Luftbobler i vannet vil skygge for fisk eller deler av fisk i

optiske bilder. Med røntgen vises boblene som lysere flekker og kan fjernes med bildeanalyse. De skjuler dermed ikke de interessante delene av bildet i samme grad som i bilder tatt med lys.

Del 3. Optimal biomasseestimering ved kombinasjon av målinger og vekstmodell

Jo Arve Alfredsen og Giancarlo Marafioti. NTNU, Institutt for teknisk kybernetikk

Innledning

Når en driftsleder melder inn fisk til slakt ved å vurdere målinger og observasjoner opp mot tallene fra produksjonsstyringsystemet, så må det estimeres basert på mer eller mindre sikre data. Denne problemstillingen er godt kjent i andre typer industriell produksjon og det er utviklet avanserte verktøy som kan hjelpe i slike situasjoner. Modellbasert estimering (MBE) brukes der en viktig størrelse ikke kan måles direkte, men må estimeres ut fra andre datakilder. Dette kan skyldes at målingene er usikre, at størrelsen ikke lar seg observere på en praktisk måte, eller at det helt enkelt ikke finnes sensorer og måleinstrumenter for denne størrelsen. Bestemmelse av biomasse i en laksemerd, dvs. å måle størrelsesfordeling og antall individer i forskjellige størrelsesgrupper, er utvilsomt en slik problemstilling. I EXACTUS er det derfor undersøkt strategier som benyttes innen prosessovervåking og måleteknologi, med tanke på å overføre samme strategi til biomasseovervåking i laksemerder.

Et viktig poeng med MBE er at det automatisk tas hensyn til usikkerheten som hefter ved både målingene og modellen på en systematisk måte. I praksis betyr dette at det som kan måles og modelleres med større sikkerhet automatisk vil vektlegges i større grad, og motsatt. Dette blir lignende til prosessen der en driftsleder manuelt velger å ta hensyn til ulike tellinger, målinger og observasjoner avhengig av hvor nøyaktig han eller hun mener målingene kan ha vært. Til den automatiske prosessen brukes objektiv informasjon som standardavvik og fordeling, perioder en teller har vært kjørt med overbelastning, hvor i merden et prøveuttak har vært tatt, fordeling og trender i biomasserammedata over døgnet, og mye mer. Alt dette er data som kan mates inn i og brukes i et automatisk system som håndterer målinger og sammenligner det med en modell som beskriver hvordan fisken og biomassen er forventet å vokse (figur 5).

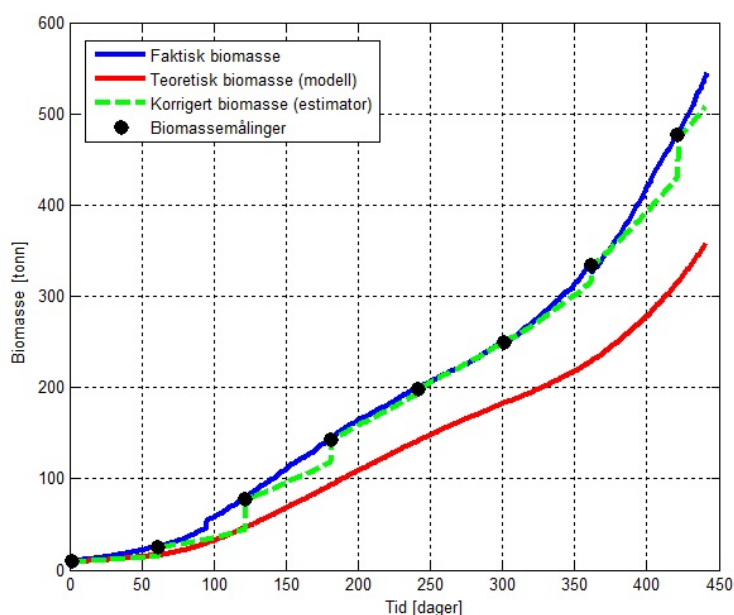
Aktivitet og funn

For å kunne undersøke om MBE kan utvikles med god nøyaktighet for bruk i havbruk, må det identifiseres en matematisk modell som beskriver veksten til laks og som er på en slik form at den kan benyttes i MBE-rammeverket. I EXACTUS har det derfor blitt utviklet en modell som beregner veksten til laks med utgangspunkt i fysiologi (dynamisk energibudsjett) og informasjon om fôringsparametre og miljøforhold i merden. Modellene i produksjonsstyringsystemene i dag, og de fleste andre vekstmodeller for laks, er basert på kurvetilpasninger for datasett med registrert vekst fra tidligere produksjoner og det lar seg ikke bruke i MBE-rammeverket direkte. Derfor har det vært nødvendig å utvikle rammeverket og en pilot for en ny modell til dette.

Med modellen er grunnsteinen på plass i rammeverket for å kunne utnytte MBE i praksis. Den kanskje viktigste komponenten i MBE-rammeverket er mekanismen som knytter modellen sammen med de faktiske målingene som gjøres i merden, og som beregner størrelsesfordeling og biomasse. Slik estimatoren er satt opp i EXACTUS har rammeverket i utgangspunktet evne til å benytte seg av

alle typer målinger som inneholder informasjon som er relevant for laksens vekst og biomasseutvikling. På sikt kan det utvikles til å benytte oksygen, strøm, daglengde og flere typer prøveuttak.

Det gjenstår å justere parameterne i modellen optimalt basert på bedre og større datasett enn hva som hittil har vært tilgjengelig, og det må utvikles systemer for å integrere målingene på en effektiv måte i MBE-rammeverket. Testene som er gjort på tilgjengelige datasett viser at systemet har bra potensiale og at estimatoren er robust nok til å kunne kjøres på de målingene som vanligvis er tilgjengelige i dag (utfôret mengde og temperatur). På sikt vil nok denne typen datahåndtering finne sin plass i fremtidens avanserte produksjonsstyringsverktøy og rammeverket er med dette på plass.



Figur 5 Målinger fører til oppdatering av modellen (estimator) slik at den reflekterer den reelle biomassesituasjonen i merden. Med en videreutvikling vil dette systemet kunne gi oppdretteren nøyaktig oversikt over biomasse og størrelsesfordeling til enhver tid.

Del 4. Hvor skal rammen stå?

Geir Pedersen og Stian Stavland. CMR Instrumentation

Innledning

Flere oppdrettere rapporterer at de har god nytte av å bruke biomasserammer og at de oppnår å treffe godt med slaktemeldingene sine basert på data fra rammene. Likevel finnes det også noen tilfeller der brukerne ikke lykkes med å oppnå representative data med rammene. Selve rammesystemet i seg selv ser ut til å måle nøyaktig nok, så hovedutfordringen er å få nok, og riktig fisk gjennom rammene. Å finne fisken og få den til å svømme gjennom rammene kan kreve mye prøving og feiling om man ikke har oversikt over hvordan den oppfører seg og fordeler seg i merdene gjennom døgnet. Bakgrunnen for arbeidet som oppsummeres her, er ideen om å bruke ekkolodd for å overvåke det området av merden hvor biomasserammen befinner seg og heve og senke rammen

manuelt eller automatisk ut fra ekkoloddets registreringer (figur 6). Målet har vært å kunne plassere rammen dynamisk slik at den registrerer et mest mulig representativt utvalg i merdpopulasjonen.

I enkelte merder og anlegg måles det for få fisk pr døgn med rammene og tommelfingerregelen fra produsentene av biomasserammer er å måle over 1000 fisk i døgnet. Måles det vesentlig færre fisk blir gjerne biomasseestimatet usikkert, ettersom fisken som da måles ikke nødvendigvis er representativ for merdpopulasjonen. I verste fall over- eller underestimeres den totale biomassen i merden slik at en taper kontroll med biomasseutviklingen.

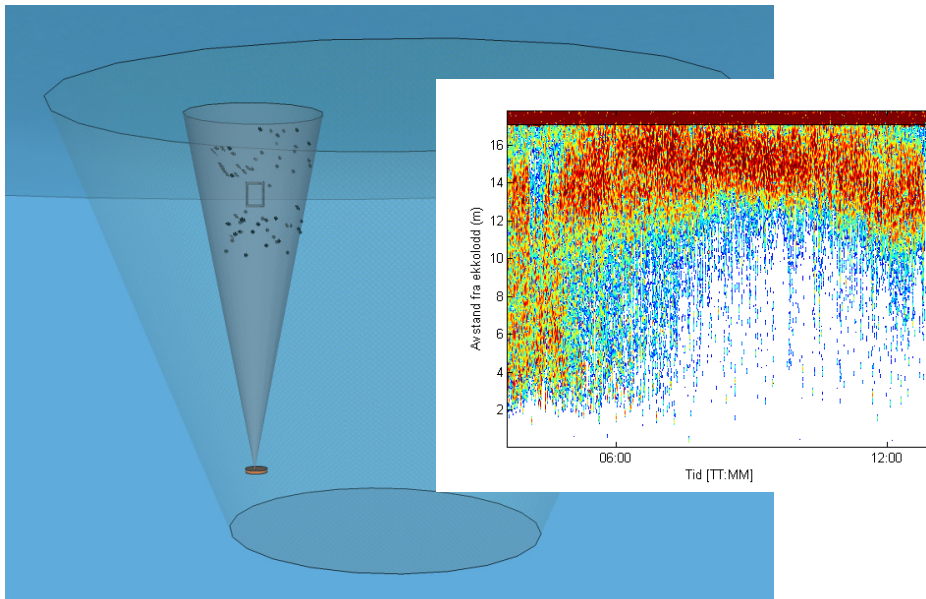
Høy gjennomsvømningssrate avhenger av at rammen plasseres i et område hvor det er nok fisk som er villige til å svømme gjennom. Dette er blant annet avhengig av at fisken står med en viss tetthet. Dersom en finner et slikt område er neste steg å sikre at rammene måler et utvalg fisk som er representativt for hele merden. En av utfordringene med å få dette til, er at det ikke alltid er klart hvor tettheten er størst i merden og heller ikke hvordan størrelsesgruppene fordeler seg. Videokamera kan brukes for å få oversikt over biomassefordelingen, men rekkevidden er kort, spesielt når det er lite lys.

Aktivitet og funn

Akustikk er velegnet både for å dekke et større volum og gir et objektivt mål på tetthet (figur 6) som kan brukes av operatøren av rammen, eller formidles til et system for å heve og senke rammen automatisk. Gjennom EXACTUS-prosjektet er det utviklet konsepter for dette, basert på nye sensorer og ny bruk av eksisterende teknologi.

I prosjektet er det valgt å fokusere på enkle og rimelige ekkolodd som allerede er på markedet eller på vei ut til markedet. For eksempel har Kongsberg Maritime (Simrad) lansert et ekkolodd for bruk i merd (EK15) og VAKI har et system under uttesting, beregnet på bruk sammen med biomasserammer. I EXACTUS er det utviklet et sett algoritmer for å tolke ekkogrammene automatisk og trekke ut informasjon om hvordan fiskestimen fordeler seg i dypet.

Gjennom sommeren 2012 ble det gjort feltforsøk med en kombinasjon av ekkolodd og ramme. Antall gjennomsvømminger ble sammenlignet med målt tetthet av laks. Flest målte laks ble oppnådd med rammen plassert rett under det tette laget der laksen oppholdt seg om dagen (figur 6). Enkelte anlegg er utsatt for sterk strøm og bølger, der dette kan føre til at fisken unngår rammen selv om det observeres høy tetthet med ekkoloddet på det gitte dypet (se del 6 "Målerammer på eksponerte lokaliteter"). Under de aller fleste forhold vil bruk av ekkolodd kunne bli et viktig verktøy for økt oversikt over dynamikken i merdene og hjelpe brukerne til å oppnå bedre resultat med bruk av biomasserammer.



Figur 6 Kombinasjon av ekkolodd for tetthetsmåling og biomasserammer. Innskutt ekkogram viser tetthet av laks på ulike dyp i et utsnitt av døgnet, observert med ekkolodd. I dette tilfellet har laksen spredd seg om natten og samlet seg i et tett lag nær overflaten om formiddagen. Nedre del av det tette «daglaget» var den posisjonen som gav flest gjennomsvømminger i biomasserammen.

Del 5. Hvordan forholder fisken seg til måling i merd?

Ole Folkedal, Frode Oppedal og Jonathan Nilsson. Havforskningsinstituttet

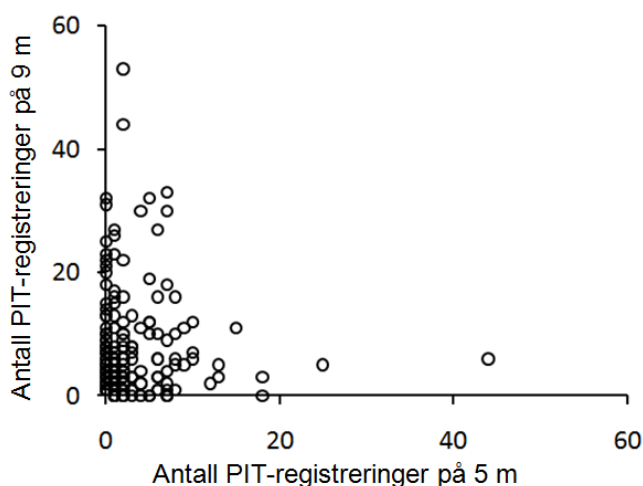
Innledning

Havforskningsinstituttets oppgave i EXACTUS har vært å undersøke hvordan laksens atferd i oppdrettsmerder påvirker størrelsesestimering ved bruk av målerammer. Sentrale spørsmål var om fiskens svømmedyp er størrelsesavhengig, hvor stor andel av individene som registreres i målerammer, samt om enkelte individer blir hyppigere registrert enn andre.

Aktivitet og funn

Det ble gjennomført forsøk i merder der størrelsesavhengig svømmedyp ble påvist for slakteklar laks. Dette er beskrevet utfyllende i egen artikkel i denne utgaven av Norsk Fiskeoppdrett. Her ble det avdekket at målerammens dybdeposisjon var en viktig faktor for å få representative målinger; dypt i merden gav overrepresentasjon av stor fisk, og grunt gav overrepresentasjon av liten fisk.

For å undersøke individuell variasjon i passering av målerammer ble det benyttet individmerket laks (figur 7). PIT-merke ble operert inn i 10% av totalt 3700 fisk i en 12m × 12m og 14m dyp merd. Merkene ble registrert ved at fisken passerte en av to antennerammer, henholdsvis posisjonert på 5m og 9m dyp. Plasseringen representerte øvre og nedre sjikt av stimens gjennomsnittlige svømmedyp i merden (målt med ekkolodd).



Figur 7 Et punkt representerer antall passeringer for samme fisk over 10 dager på hhv. 5 og 9 meter.

Over en periode på 10 dager med registreringer var det stor individuell variasjon, hvor 76 laks (21%) aldri ble registrert, mens 12 stk (3%) ble registrert mer enn 30 ganger (figur 7). Overrepresentasjon av store fisk ble registrert ved dypeste antenne (9m) og gav 8,5% for høy snittverdi totalt sett. Halvparten av individene registrert på 9m ble også registrert på 5m mens 82% av individene på 5m ble registrert også på 9m. Resultatene indikerer at fisk av alle størrelser svømmer på alle dyp, men at større individer bruker mer tid dypt enn små individ.

For å undersøke om størrelsesavhengig svømmedyp og suksess med posisjonering av målerammer ut fra fiskens preferansedyp også gjelder i merder av kommersiell størrelse, ble målerammer satt ut på ulike dyp i store merder (157m omkrets, 50m dyp) med slakteklar laks i industriell tetthet. Rammene ble posisjonert på tre ulike dyp, basert på en vurdering av temperatur og salinitetsprofil for vannsøylen, kamera- og ekkoloddobservasjoner. Trenden her var den samme som i småskala; den målte snittvekten økte med økende dyp. Kvaliteten på måledataene var imidlertid langt svakere enn for forsøkene i småskala, med lavere antall målinger per døgn. En annen forskjell var at majoriteten av registreringene i stormerd ble gjort nattetid (i mørke). Den aktuelle forsøkslokaliteten var relativt strøm- og værutsatt, noe som kan være med på å forklare det lave antallet registreringer (se "Del 6 Målerammer på eksponerte lokaliteter"). Antall registreringer pr døgn økte ikke over tid når rammene hang i samme posisjon over 6 uker og ekkoloddet viste at merdgruppen av laks hadde uendret svømmedyp. Dette kan tolkes som at tilvenning ikke er en viktig faktor. Tilvenningseffekt ble heller ikke observert i småskala-merdene hvor fisken svømte hyppig gjennom rammene allerede fra dag 1 med rammer. Som observert i andre forsøk (del 6) ble det også her observert at stimende laks i stormerd effektivt unnvek rammene (figur 8). Basert på disse erfaringene med få registreringer på utsatte lokaliteter, kan bruk av den nye og større målerammen fra produsenten VAKI være lovende for å øke gjennomsvømmingen på "vanskelige" lokaliteter.



Figur 8 Måleramme posisjonert på 5 m dyp, hvor stimen aktivt unngår rammen ("hull" i stimen rundt rammen).

Del 6. Målerammer på eksponerte lokaliteter

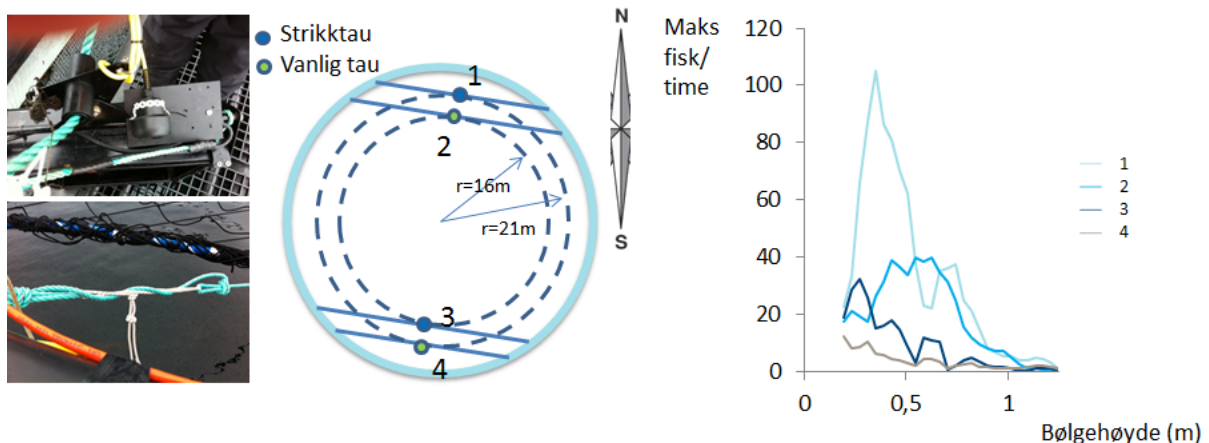
Kevin Frank og Erik Høy. SINTEF Fiskeri og havbruk

Innledning

Erfaringer med bruk av biomasserammer langs kysten viser at det er flere som oppnår gode målinger, men samtidig er det enkelte som har utfordringer med å få et tilfredsstillende antall gjennomsvømminger til å oppnå pålitelige resultater. Gjennom arbeidet med å vurdere utfordringer knyttet til dagens bruk av biomassemålingsutstyr, ble det kartlagt lokalitetsplassering for en del anlegg som oppgav at de lykkes med å bruke biomasserammer. En fellesnevner ser ut til å være at de ligger forholdsvis skjermet i forhold til bølger. For å undersøke sammenhengen mellom bølger og bruk av biomasserammer, ble det gjennomført et forsøk på den eksponerte lokaliteten Tristein i Sør-Trøndelag. Eksperimentene foregikk hovedsakelig i regi av prosjektet EXACTUS, med støtte fra SINTEF Fiskeri og havbruk, Aquaculture Engineering og Salmar Farming.

Aktivitet og funn

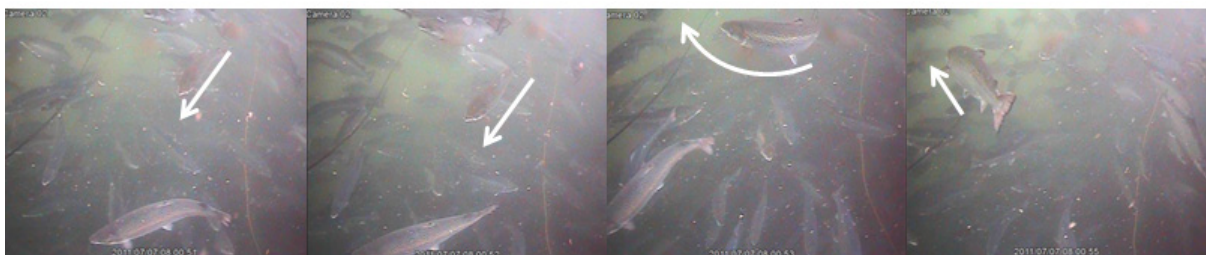
Oppsett for eksperimentet var basert på en hypotese om at fisken unngår å svømme gjennom rammene når de "hiver" for mye på seg i forbindelse med bølger. Fire like rammer ble derfor hengt ut i forsøksmerden, to med vanlig tauoppheng og to med strikkinnlegg i tauene (figur 9). Alle rammene hadde kamera med oversikt over området foran "rammeåpningen". Referansedata for bølger og værforhold ble hentet fra miljøovervåkningsbøya ved siden av anlegget. Forsøksmerden hadde om lag 160 000 laks på 5,5kg, og var den merden som lå mest utsatt til for sjø og vind fra sør og sørvest. Fisken ble sendt direkte til slakteri etter at forsøket var ferdig.



Figur 9 Venstre: Ramme med kamera på toppen og gummistrikk i opphengstauet. Midten: posisjonene der de fire rammene ble plassert i merden. Høyre: sammenhengen mellom signifikant bølgehøyde og maksimal gjennomsvømmingsrate pr time for de forskjellige rammene.

Som grafen i figur 9 viser, var det stor forskjell i antall registrerte fisk mellom de ulike rammene. Både rammen med flest og den med nest færrest registreringer, var utstyrt med strikkoppheng. Denne metoden for oppheng hadde altså ingen påviselig effekt på målingene. Analyser av rammenes bevegelse i sjøen viste også at de ikke fikk noe dempet eller endret bevegelse som resultat av strikktauet. Samtidig var det helt tydelig at bølgestatus påvirket antallet gjennomsvømminger i rammene. En jevn nedgang ble observert i forhold til økt bølgehøyde, og i perioder med mer enn om lag 80cm bølgehøyde ble det registrert svært få gjennomsvømminger (figur 9). Det ble også målt større bevegelse i rammene ved høye bølger og dette støtter hypotesen om at fisken unngår rammene på grunn av bevegelse når det er mye bølger. Kameraobservasjonene viste også at fisken fortsatte å oppholde seg i området der rammene stod.

I forhold til bruk av biomasserammer ble det også gjort en interessant observasjon i forhold til horisontalfordeling av fisken. I motsetning til den vanlige oppfatningen om at fisken svømmer i en symmetrisk sirkel rundt og rundt i merden, ble det registrert langt færre fisk i rammene ved posisjon 3 og 4 i forhold til de ved posisjon 1 og 2. Denne tetthetsfordelingen holdt seg konstant gjennom hele måleperioden og var tydelig både i antallet målinger fra rammene og som observert tetthet på videoopptakene. Måleoppsettet med fire rammer og fire kamera på samme dyp gjorde det mulig å observere denne typen skjevhet og dette hadde stor betydning for antall målinger i rammene. Det er ikke helt klart hva som var årsaken til skjevfordelingen (det var ikke sterk strøm). Med det ser ut til at fordelingen hadde med bølger å gjøre. Laksen foretrakk å stå i den siden av merden som var minst utsatt for kort og krapp sjø. Det er klart at skjevfordelingen i tetthet hadde stor betydning i forhold til antall målte fisk i hver ramme.



Figur 10 Bilder fra kamera montert på en av rammene. Sekvens på 4 sekunder fra venstre mot høyre: Laksen nærmer seg, men snur og unngår rammen. Bildeserien er fra en periode med mye bølger og bevegelse i rammene.

Basert på spredningen i størrelse som ble registrert på slakteriet (variasjonskoeffisient, CV, på 23%), burde det vært målt mer enn 3500 laks i merden for å kunne treffe på vekt innenfor 1% feilmargen med 99% sikkerhet. Dette antallet ble bare oppnådd med en av rammene i forsøket. Sammenlignet med slaktetallene er det tydelig at dette ikke var et representativt utvalg av populasjonen, og forskjellen kan forklares med at fisken stod skjevt fordelt i merden.

Behov og anbefalinger fra arbeidet i EXACTUS

Biomassekontroll i moderne lakseoppdrett er en kompleks problemstilling med et samspill mellom mange ulike målemetoder og systemer for oppfølging underveis. Å telle og måle alle laks i en merd er i dag kun mulig dersom fisken trenges og pumpes gjennom ulike rørbaserte tellesystemer. Med de belastningene dette påfører fisken, er det nå ikke mulig å basere den regulære biomassekontrollen på noe annet enn bokholderi gjennom produksjonen og veieprøver fra prøveuttak. Biomassen i et anlegg er en dynamisk størrelse som endrer seg hver eneste dag, og sammen med det store antallet individer i hver merd gir det klare utfordringer for biomassekontroll. Det er ikke lett å følge utviklingen nøyaktig gjennom å foreta målinger på representative utvalg av populasjonen. Undersøkelsene i EXACTUS viser at tiltakene for bedre biomassekontroll i første rekke bør fokusere på å optimalisere bruken av de beste målesystemene som er tilgjengelig i dag. Måleteknologien ser ut til å gi mulighet for langt mer presise målinger enn den presisjonen som oppnås for enkeltmerder med dagens biomassekontroll. Et fokus på bedre målinger kan gjøre det mulig å nærme seg industriens visjon om 1% avvik i biomasse og 0,1% antall, men for å nå dette fullstendig må det også klart fokuseres på videre utvikling av teknologi. I det følgende oppsummeres et sett viktige punkter for næringen fra EXACTUS-arbeidet:

Statistikk (basert på data fra 2009-2010):

- Totalt ble det slaktet forventet antall og biomasse, med totale avvik på kun 0,03% i antall og 0,45% i total biomasse. Tallene er basert på slakt av 134 608 tonn fisk i Midt-Norge for perioden juli 2009 til juni 2010. Midt-Norge ligger tett oppunder MTB-grensene og det er naturlig å anta at fokus på biomassekontroll kan være høyere der enn gjennomsnittet for hele landet.
- På merdnivå var det større spredning, der halvparten av merdene hadde mer enn 3% avvik i total biomasse, og 10% av estimatene hadde større avvik enn 10%.
- Telling av fisk ved splitting og sortering hadde ikke nevneverdig betydning for antallskontroll.
- Ved høy akkumulert dødelighet slaktes det mer fisk enn forventet, noe som tyder på overestimering av dødelighet når denne er høy.

Ny måleteknologi:

- Røntgen er undersøkt som måleprinsipp for ny teknologi til telling i høy hastighet, under forhold der dagens lysbaserte teknologi ikke klarer å gi tilfredsstillende resultat.
- Laboratorieresultatene for røntgen er lovende i forhold til bildekvalitet og robusthet mot overlappende fisk, vann, skum og luft.

Datasystemer:

- Dagens løsninger med produksjonsstyring basert på fôrfaktormodeller og andre rene empiriske vekstmodeller fungerer bra i normalsituasjoner, men næringa trenger en moderne produksjonsoppfølging som kan ta hensyn til flere faktorer, håndtere avvik og dra direkte nytte av målinger underveis i produksjonen.
- Det er utviklet et skjell for en moderne produksjonsstyring med en avansert modell i bunnen og en estimator på toppen som automatisk håndterer avvik og målinger fra produksjonen.
- På sikt vil moderne databruk tvinge seg fram i biomassekontroll og produksjonsstyringssystemene.

Bruk av biomasserammer i merd:

Fisken fordeler seg sjelden jevnt i merdene. Dette gjelder både i størrelse og tetthet, i horisontal og vertikalplanet. For å gjøre gode målinger i merd er det to ting som er viktig:

Antall i utvalget

- Med en normal spredning i biomassen (21-23% CV) må det måles minimum 3000-3500 fisk for å være 99% sikker på å treffe innenfor $\pm 1\%$ av riktig gjennomsnittsvekt.
- For å få mange nok fisk gjennom rammene gjelder det å flytte dem rundt og finne områdene med høy nok tetthet. Her er det god hjelp i å bruke kamera og ekkolodd for å skaffe oversikt.
- Hvis det er mye bølger på lokaliteten gjelder det å begrense bevegelsene som blir overført til rammen. Ikke bruk line med bøye direkte opp til overflaten for å styre dybden på rammen. Gjør innfestingen nede på merdklammeret i stedet for i håndrekka. Det kan være en ide å prøve rammen på den siden av merden som er minst eksponert for sjø og bevegelse.

Representativt utvalg

- For å finne et representativt utvalg av fisk med rammer, er det best å bruke flere kilder for å skaffe oversikt over hvordan fisken fordeler seg.
- Bruk bevegelig kamera og gjerne ekkolodd for å finne ut hvordan fisken står i nota. Se etter størrelsesforskjeller på ulike dyp og på ulike sider av merden, og på ulik avstand til merdkanten. Prøv også å finne ut hvordan tettheten endrer seg i løpet av døgnet og sammenlign med når fisken går gjennom rammene.
- Flytt rammene aktivt rundt i merden, både horisontalt og vertikalt. Sammenligne resultatene med det som observeres på kamera og ekkolodd.

Målinger ved pumping eller flytting av fisk:

For å oppnå bedre presisjon ved bruk av tellere under flytting av hele fiskepopulasjonen, må telleteknologien komme mer fokus i operasjonene. For å regulere flyten må det være telleren, og dens behov for å fungere under optimale forhold, som bestemmer tempo i operasjonen.

- Bruk informasjon fra telleren for å bestemme hvor hardt fisken skal trenes og hvor fort det skal pumpes. Ikke overkjør tellekapasiteten!
- For tørrtellere gjelder det å sørge for at vannavskillingen fungerer som den skal. Ikke overkjør kapasiteten til vannavskilleren!
- Bruk utstyr med en kapasitet og et måleområde som er best mulig tilpasset oppgaven. Å spare penger på kompromissløsninger gir dårlig biomassekontroll.
- For våte tellere gjelder det å sørge for at pumpa ikke suger inn luft eller skum som kan forstyrre bildene i telleren.
- Tellere som måler fisken spredt utover en flate, må stå slik at fisken spres godt og blir jevnt fordelt.

Bruk av data:

- Ta vare på data fra alle målinger som er gjort og bruk dem aktivt i arbeidet med å vurdere biomasseutviklinga, men vær kritisk og ærlig i forhold til presisjonen.
- Be om dokumentasjon på tellinger som er gjort. Dokumentasjon som beskriver om operasjonen er gjennomført slik at tellesystemet har hatt gode arbeidsforhold, er viktig.
- Bruk dataene og dokumentasjon aktivt til å sammenligne mellom ulike utsett og grad av suksess. Vær kritisk til kvaliteten på teknologi og operasjoner og still krav til kolleger og underleverandører på kvalitet i gjennomføring og dokumentasjon av metoder.
- Krev standardisering av dokumentasjon så det blir mulig å sammenligne operatører og teknologiløsninger.

Forslag til videre utvikling av kunnskap

Arbeidet i EXACTUS har avdekket flere områder der det er behov for mer kunnskap og mer utvikling. De følgende punktene er prosjektets anbefalinger for hvor en bør legge trykket for å komme videre.

- Antallskontroll. Videreutvikle **kunnskapen om feilkilder** og legge grunnlaget for spissing av systemene brukt i dag – hjelpeteknologi og operasjoner for bedre å kunne følge opp antall i merdene.
- Prøveuttak. Anvende og videreutvikle kunnskapen om fiskens fordeling i merdene for å få gode verktøy som gir mer **representative prøveuttak** for vekstestimering.
- Modellbasert estimering. Videreutvikle **modell- og estimeringsverktøyene**, legge til rette for at rammeverket fra EXACTUS kan anvendes som grunnlag for moderne biomassekontroll i produksjonsstyringssystemene.

Takk til Forskningsrådet og FHF som hovedfinansierer av KMB-prosjektet (kompetanseprosjekt med brukermedvirkning), samt de deltagende aktørene for delfinansiering og direkte bidrag i arbeidet. Konsortiet har bestått av representanter for Marine Harvest Norway, Salmar Farming, Lerøy Seafood Group, VAKI Aquaculture Systems, EWOS Innovation, BioMar, Nexans Norway, Norbit Subsea, Ocea Gruppen, Fiskeridirektoratet, kyst og havbruksavdelingen. Forskingen er utført av: SINTEF Fiskeri og havbruk, Christian Michelsen Research, SINTEF IKT, Havforskningsinstituttet, NTNU, Norges Veterinærhøgskole og Universitetet i Oslo.

Besøk gjerne nettsidene for flere detaljer, rapporter og foredrag fra EXACTUS-prosjektet:
www.sintef.no/EXACTUS