



PROSJEKT SEMILUKKEDE MERDER

[AKVAFUTURE]

SLUTTRAPPORT

Akvafuture AS,
Brønnøysund

Org.no: 996 482 537
akvafuture.com

SAMMENDRAG

18. desember 2015 søkte Akvadesign AS (som nå har endret navn til Akvafuture AS) om utviklingstillatelser. I 2016 ble et helt nytt konsept designet og påbegynt gjennom Akvafuture sine nylig tildelte FoU-tillatelser i påvente av saksbehandling for utviklingstillatelsene. Etter tildeling av to utviklingstillatelser i juni 2018, ble prosjektet videreført fra den innledende forskningsfasen og over i utviklingsfasen.

Ved tildeling av tillatelsene utarbeidet Akvafuture en hensiktsmessig plattform for deling av kunnskap og erfaringer på selskapets hjemmeside som spesifisert under aktuelle målkriterier, og det ble utarbeidet et faktark med nøkkelinformasjon om prosjektet med beskrivelse og tegning av konseptet med hoveddimensjoner, funksjonalitet og leverandører. Plattformen og faktaarket er tilgjengelig på selskapets [hjemmesider](https://www.akvafuture.com/no/utviklingstillatelser/): (<https://www.akvafuture.com/no/utviklingstillatelser/>).



OPPSUMMERT

Akvafuture har innfridd målkriterie 1-8 og anser derfor utviklingsprosjektet som gjennomført ved levering av denne sluttrapporten. Rapporten inneholder en evaluering av prosjektet med basis i resultatene fra tekniske og biologiske måleprogram, samt vurdering av våre interne suksesskriterier med tanke på kommersialisering av konseptet.

VIKTIGSTE RESULTATER TEKNISK

DRIFTSSIKKERT. I STAND TIL Å OPPRETTHOLDE GODE MILJØBETINGELSER

Gjennom utviklingsprosjektet har vi utviklet et anlegg med 12 sammenhengende semilukkede merder, hver med et vannvolum på 6000 m³ og vanninntak fra 20 m dyp. Anlegget er komplett utstyrt med fôrflåte, kontor/kontrollrom/laboratoriebygg og videoovervåket fôringssystem.

Totalt er det investert 152 mill. NOK i anlegget. For teknisk dokumentasjon i utviklingsprosjektet er det gjennomført langtidsmålinger av belastninger på anlegget ved ulike miljøforhold.

Denne dokumentasjonen har vist at anlegget responderer på ulike forhold etter forventning. Målingene har også vært anvendt til parameterisering av beregningsmodell for semilukkede merdanlegg etter mønster av Hamnsund-anlegget.

Målinger, beregninger og modellsimulering bekrefter at designet fungerer og har mer enn tilstrekkelig konstruksjonsstyrke for å stå imot miljøkreftene anlegget kan utsettes for ved lokaliteten Hamnsundet. Anlegget har vist seg driftssikkert og i stand til å opprettholde gode miljøbetingelser for trivsel og vekst av laks med inntil 50 kg biomasse per kubikkmeter vann i merdene.



VIKTIGSTE RESULTATER BIOLOGISK

INGEN LAKSELUS. BEDRE MILJØ OG FISKEVELFERD

Produksjonen av laks i utviklingstillatelsene ved Hamnsundet har foregått i flere grupper, med hovedvekt på produksjon av slaktefisk i lukket merd. Til sammen er det slaktet 773 tusen fisk med snittvekt på 4 kg og med 90% superior kvalitet.

Det er gjort omfattende dokumentasjon av fiskevelferd med gjennomgående gode vurderinger. Produksjonen har foregått uten påvirkning av lakselus, noe som representerer en vesentlig miljøforbedring og forbedring av fiskevelferd sammenlignet med tradisjonelt oppdrett i åpne merder. Vi har også redusert det organiske utslippet fra produksjonen vesentlig gjennom oppsamling og prosessering av slam.



INTERNE SUKSESSKRITERIER

TEKNOLOGI SOM LØSER MILJØ- OG AREALUTFORDRINGER

Bruken av konseptet går nå over i en kommersiell fase hvor de biologiske og tekniske erfaringene skal benyttes til etablering av drift som også kan gi økonomiske resultater.

Etter analyse og gjennomgang internt i organisasjon og i styre, har vi isolert to avgjørende og kritiske suksessfaktorer:

- 1) Driftssikkerhet, slik at man unngår tekniske havari; og
- 2) Biosikkerhet, slik at man unngår å få alvorlig sykdom inn i anlegget.

Det første kriteriet mener vi å ha møtt ved driftssikker gjennomføring av produksjon av matfisk i vårt anlegg. Det andre kriteriet har vi imøtekommet ved at vi unngår alvorlige smittsomme sykdommer og smitte med lakselus. Biosikkerhet må allikevel konstant prioriteres i driften av lukkede merdanlegg så vel som i åpne merdsystem.

Ordningen med utviklingstillatelse skulle bidra til teknologiløft innen akvakulturnæringen for å løse miljøutfordringer og arealutfordringer. Vårt konsept bidrar til å løse begge utfordringene, for eksempel ved at vi i praksis driver uten påvirkning og utslipp av lakselus. Investeringer i anlegg og drift av anlegg med lukket merdteknologi er imidlertid kostbart sammenlignet med tradisjonell åpen merdteknologi. Det er derfor et avgjørende eksternt suksesskriterium for kommersiell bruk av denne typen teknologi, og annen teknologi som utvikles gjennom ordningen med utviklingstillatelse, at myndighetene følger opp med rammebetingelser der den nye teknologien premieres for å skape en miljømessig bærekraftig vekst innen norsk havbruksnæring.

Resultatene fra prosjektet og evalueringen som ligger bak oppsummeringen av interne suksesskriterier viser etter vår mening at vår teknologi nå både er utviklet til en kommersiell standard og med et betydelig forbedret miljømessig bærekraft sammenlignet med produksjon av fisk i åpne oppdrettsmerder. Dette gjelder i første rekke totalt fravær av lus og muligheten for å samle opp slam og i tillegg en redusert risiko for rømming av fisk. Vi har også hatt en svært god kvalitet på slaktefisken.



OM KONSEPTET

Det er utviklet en installasjon av et anlegg med 12 sammenhengende semilukkede merder, hver med et vannvolum på 6000 m³ og vanninntak fra 20 m dyp. Anlegget er komplett utstyrt med fôrflåte, kontor/kontrollrom/laboratoriebygg og videoovervåket fôringsystem.

Det som skiller anlegget fra vanlige åpne merdanlegg, er:

- Tette poser med inntak av vann fra 20 meter gir full sikkerhet mot smitte av lakselus og bedre beskyttelse mot skadelige algeoppblomstringer
Styring av vannutskifting og strømsetting gir god trening, vekst og fiskevelferd
- Kontinuerlig overvåking av oksygenmetning i vannet med automatisert oksygentilførsel sikrer gode oksygenforhold gjennom hele året og uavhengig av produksjonsintensitet
- Kontinuerlig overvåking av trykk i merdene og automatisert styring av vanninntak sikrer et balansert overtrykk som bidrar til at posene holder seg utspilt med et stabilt volum uavhengig av strømhastigheten på lokaliteten
- Automatisert og hygienisk uttak av slam og død fisk
- Eget anlegg for behandling og tørking av slam

INNHOOLD

01.	INNLEDNING	8
02.	PLAN FOR UTVIKLING OG DRIFT AV SEMILUKKET MERDANLEGG	12
03.	BYGGEFASE, INKLUSIVE TRANSPORT OG INSTALLASJON	14
04.	OPERASJONSRESULTATER FRA MÅLEPROGRAMMET	18
05.	EVALUERINGER OG LÆRING FRA PROSJEKTET	59
06.	VEIEN VIDERE- SUKSESSKRITERIER FOR VIDERE KOMMERSIALISERING	68

INGEN LAKSELUS

Lokaliteten på Hamnsundet har vært drevet helt uten forekomst av lakselus, og uten noen behov for renseskik eller lusebehandling. Det er i overensstemmelse med tidligere erfaringer med selskapets drift av semi-lukkede anlegg. Tidligere forsøk har også vist at dersom man tar fisk med påslag av lakselus inn i anlegget, så forsvinner lusa over tid.

Dette mener vi må skyldes at det i praksis tas inn minimalt med smittsomme luselaver gjennom vanninntaket på 20 meters dyp. Samtidig vil luselarver som klekker fra lus som er tatt inn i anlegget med fisk utenifra, vaskes ut av systemet før de blir smittsomme luselarver og kan reinfestere fisk i anlegget.

1. INNLEDNING

Akvafuture AS (tidligere Akvadesign AS) ble i tilsagnsbrev fra Fiskeridirektoratet datert 1.6.2017 tildelt én Utviklingstillatelse. Etter klage ble det tildelt to Utviklingstillatelser den 5.6.2018. Utviklingstillatelsene ble gitt for gjennomføring av utviklingsprosjekt for et nytt konsept med semi-lukkede merder. En forutsetning for tildelingen var at utviklingsprosjektet skulle omfatte uttesting og dokumentasjon av matfiskproduksjon i semilukkede merdsystem.



Akvafuture AS ble tildelt FoU-tillatelser i forkant av tildelingen av Utviklingstillatelsene. I retningslinjene for ordningen med utviklingstillatelser er et av formålene at det kan bygges bro mellom de ulike fasene i prosjektet. Utviklingstillatelsene skal bidra til å ta prosjekter videre fra forskningsfasen og over i utviklingsfasen, frem mot kommersialisering av den teknologiske løsningen.

I tilsagnet til Akvafuture AS har NFD og Fiskeridirektoratet tatt hensyn til biomassen i FoU-tillatelsene ved tildeling av utviklingstillatelsene og videre poengtert at FoU-tillatelsene og utviklingstillatelsene kan inngå i samme prosjekt.

Akvafuture AS ble på dette grunnlag gitt mulighet for å søke fylkeskommunen om samlokalisering av utviklingstillatelsene med forskningstillatelsene. Lokalitet Hamnsundet i Vevelstad kommune (lokalitetsnummer 38057) ble valgt og godkjent for gjennomføring av utviklings- og forskningsprosjekt. Biomasse og aktiviteter ved Hamnsundet er derfor delvis også omfattet av forskningstillatelsene.



Fiskeridirektoratet har i tilsagnsbrevets kapittel 6.5 «Målkriterier, fremdriftsrapportering og kunnskapsdeling»; stilt følgende krav (Målkriterie 9):

Prosjektet skal utarbeide en sluttrapport før eventuell søknad om konvertering. Rapporten skal inneholde en evaluering av prosjektet med basis i resultatene fra måleprogrammet samt interne suksesskriterier med tanke på kommersialisering av konseptet.

Denne sluttrapporten formidler utviklingsforløpet til Akvafuture AS sitt prosjekt for utvikling av kommersielt bærekraftig lakseoppdrett i semilukkede merdanlegg.

Rapporten beskriver først bakgrunnen for prosjektet.

Dernest beskrives den teknologiske utviklingen gjennom design og byggefase, transport og installasjon av anlegg. Rapporten dokumenterer så teknologiske og biologiske driftsresultater i henhold til måleprogrammene som er gjennomført i utviklingsprosjektet. Endelig evaluerer vi resultatene fra måleprogrammene som er fastsatt i henhold til målkriterie 7.1.

Herunder skisseres også suksesskriterier for veien videre mot kommersialisering.

Utviklingsløpet mot semilukkede merdanlegg har blitt gjennomført med store bidrag fra underleverandører og vitenskapelige deltakere. Dokumentasjon av de viktigste driftsrelaterte resultatene fra fullskala produksjon av laks i merdanlegget presenteres i rapporten.

Bilde: Distrikts- og digitaliseringsminister Linda Hofstad Helleland og Fiskeri- og sjømatminister Odd Emil Ingebrigtsen på befaring ved Hamnsundet.





2. PLAN FOR UTVIKLING OG DRIFT AV SEMILUKKET MERDANLEGG

Motivasjonen som har ligget til grunn for Akvafuture AS sin satsing på utvikling av semilukkede merdanlegg i sjø har vært å bidra til nye løsninger både med tanke på miljø- og arealutfordringene i næringen. Miljøbidraget er særlig relevant i forhold til målet om å kunne produsere fisk i sjø uten påvirkning av lakselus. Bidraget til å løse arealutfordringer sammen med andre miljøutfordringer er utnyttelse av grunnere mer skjærmede lokaliteter enn dagens åpne merdanlegg kan anvende, ved at de organiske utslippene reduseres gjennom oppsamling av slam.

Akvafuture AS ble etablert av gründer Anders Næss som enkeltmannsforetak i januar 2009 og senere som aksjeselskap i januar 2011. Selskapet drev i en periode innledende uttesting av mindre lukkede pilotmerder gjennom forskningstillatelser.

I den første fasen var det viktig å teste om semilukkede merdsystem egner seg både teknisk og biologisk til oppdrett av laks ved at fisken trives og vokser i disse systemene. Vi var da igjennom uttesting av flere typer mindre merder og en større pilotvariant. Pilotvarianten hadde imidlertid klare svakheter i konstruksjonen/designet. Blant utfordringene har vært balansering av innløp mot utløp for å opprettholde et overtrykk som sikrer at den tette merdduken holder seg utspilt.

Videre, har det vært utfordringer med driftssikre system for tilførsel av oksygen til merdene, med back-up systemer. Etter suksessiv justering av en rekke tekniske installasjoner i pilotmerden og bygging av flere slike merder, gjennomførte vi flere forsknings-prosjekter med gode resultater fra produksjon av postsmolt og laks opptil ca. 1,5 kg. Vi hadde likevel utfordringer med å skape opprettholde et stabilt produksjonsmiljø med de første tekniske løsningene.

I 2016 ble derfor et helt nytt konsept designet og påbegynt, og det var på dette grunnlaget det ble søkt om Utviklingstillatelse den 18. desember 2015, for å ta prosjektet videre fra den innledende forskningsfasen og over i utviklingsfase. En nærmere redegjørelse for dette fremgår av [Vedlegg 1](#).

Det nye konseptet var basert på en flytering av betongelementer fremfor plastelementer. Den lukkede posen ble også adskilt fra den nye betongringen og montert i et eget flotasjonssystem inne i betongringen, fremfor en lukket pose som var direkte montert i ringen av plastelementer. Innløpssystemene og avløpssystemene ble endret. Flere løsninger ble automatisert med motorisering, regulering og digitalisering. I tillegg ble oksygen, strøm og reguleringsystemene videreutviklet og forbedret. Disse funksjonene ble også samlet i et eget 3.delt bygg for å sikre og skjerme hver av disse prosessene innendørs. Med de nye betongelementene ble det også mulig å koble flere merdenheter sammen for å danne et kompakt lukket anlegg i en sammenhengende stor konstruksjon. Dette ga helt nye muligheter for det operasjonelle på anlegget, både med tanke på arbeidsmiljø, HMS og prosess-styringen med dødfisk-behandling, føringssystemer og slambehandling.

Erfaringene fra innledende forskningsfase med første versjon av det nye konseptet ga nyttig kunnskap om både de tekniske løsningene og den biologiske produksjonen.

Ut fra erfaringene i forskningsfasen ble det gjort nye og mindre synlige, men viktige designendringer som er tatt med videre over for gjennomføring av utviklingsprosjektet.

Dette var endringer på innløpssystemer; avløpssystemer; innmontering og fortøyningspunkter i betongelementene; oppdriftssystemet for den lukkede posen; oppsamlingen av slam og dødfisk; føringssystemet og fortøyningspunkt. I tillegg ble det påbegynt utvikling av en spesialdesignet sjøbase med plass/rom for slambehandlingsutstyr; kontor/kontrollrom; overvåking/overnattingsløsninger; veterinær-/ forsknings-laboratorium og potensiell løsning for egenproduksjon av oksygen.



3. BYGGGEFASE, INKLUSIVE TRANSPORT OG INSTALLASJON

3.1 INNLEDNING

DNV GL (Noomas AS) har utført en tredjeparts designverifikasjon av det lukkede anlegget for å sikre at det er designet i henhold til regler og standarder. DNV GL sin tredjeparts verifikasjon ligger til grunn for designspesifikasjon og bygging/utførelse av konstruksjonene.

All dokumentasjon som ligger til grunn for sertifisering av endeproduktet av Akvafuture sitt utviklingsprosjekt, et semilukket anlegg med 12 merder, er vedlagt sluttrapporten i samlet form som egne rapporter eller produktsertifikat ([Vedlegg 2 - 8](#)). Alle vedleggene er tidligere oversendt som dokumentasjon til Fiskeridirektoratet.

3.2 VERIFISERING DESIGN

Verifikasjon av anleggsdesignet baserer seg på oversendt designbasis som prosjekteringsgrunnlag, med beregninger og tegninger. DNV GL (Noomas AS) er akkreditert av Norsk Akkreditering som sertifiseringsorgan PROD 013 for produkter i henhold til NS 9415, NYTEK-forskriften og retningslinjer for produktsertifisering.

Det er utarbeidet rapport for verifisering av metode, med produktsertifisering, konstruksjon, revisjon, komponentliste, dokumentinnsamling og analyse av konstruksjonen ([Vedlegg 2](#)). Rapporten omfatter en analyse og diskusjon av enkeltkomponentenes robusthet i forhold til miljøkreftene anlegget kan utsettes for på aktuelle lokasjoner, og hvorvidt konseptdesign med tegninger og beregninger er i samsvar med NS 9415:2009-standarden. Vurderinger om samsvar er gjort i henhold til en egen sjekkliste gitt i kapittel 7 NS 9415:2009.

3.3 BYGGEFASE

Anlegget er bygget opp av flere komponenter som monteres og sammenstilles til et komplett semilukket merdanlegg. Merdelementer i betong støpes og lagres ved Helgeland Marinasystemer AS sine lokaler ved kai i Mo i Rana. Helgeland Marinasystemer AS leverte også flåter og brygger til anlegget.

Etter ferdigstilt flytering i betong, ble en spesialdesignet rømmingsnot fra Egersund Net AS tilkoblet. Denne er sertifisert etter NS 9415. Egersund Net AS leverer også taknett. Merdene sammenstilles av flere tekstilduk-elementer til en hel pose. De ulike tekstilduk-elementene skjæres til med en automatisert kutte-maskin med egen software utviklet til formålet ved fabrikken til O.B. Wiik AS, som holder til i Sverige (Norrlands hall & kapell AB). Xylem Water Technology Norway AS leverer ferdig montert system for styring av pumper, tilkobling av sensorikk og programmering av automasjonssystemet. Pumper leveres som egne produkter/komponenter.

Akvafuture AS produserer flere av komponentene som inngår i den lukkede merden og til det lukkede anlegget. Dette gjelder alle standard og spesialdesignede komponenter til innløpssystemer, pumpesystemer, avløpssystemer, slamhåndtering og driftsboder for elektronikk, styring og automasjon. Slinger, rør, mindre spesialkomponenter, oksygenutstyr, fôringsanlegg etc., leveres gjennom standard kontrakter hos ulike leverandører. Notat som redegjør for leverandører av delkomponenter til anlegget er vedlagt ([Vedlegg 3](#)).

3.4 TRANSPORT

Metode og arrangement for transport fra produsent til lokalitet ble godkjent av kvalifisert assurandør for sikker transport av anlegget.

Av de større anleggskomponentene, ble betongelementene til flytering transportert med frakteskute til lokaliteten. De ble løftet om bord og senere sjøsett på lokalitet med skutes kran. Sammenstilling og montering av betongelementene til flytering ble gjennomført av eget personell og fartøy i samarbeid med leverandøren. Montasjemateriell og ekstrautstyr fulgte leveransen og frakten av merdelementene. Helgeland Marinasystemer AS leverte også flåter og brygger til anlegget på samme måte som beskrevet ovenfor. Notat som redegjør for transport og forsikring av de ulike komponentene i anlegget er vedlagt ([Vedlegg 3](#)).

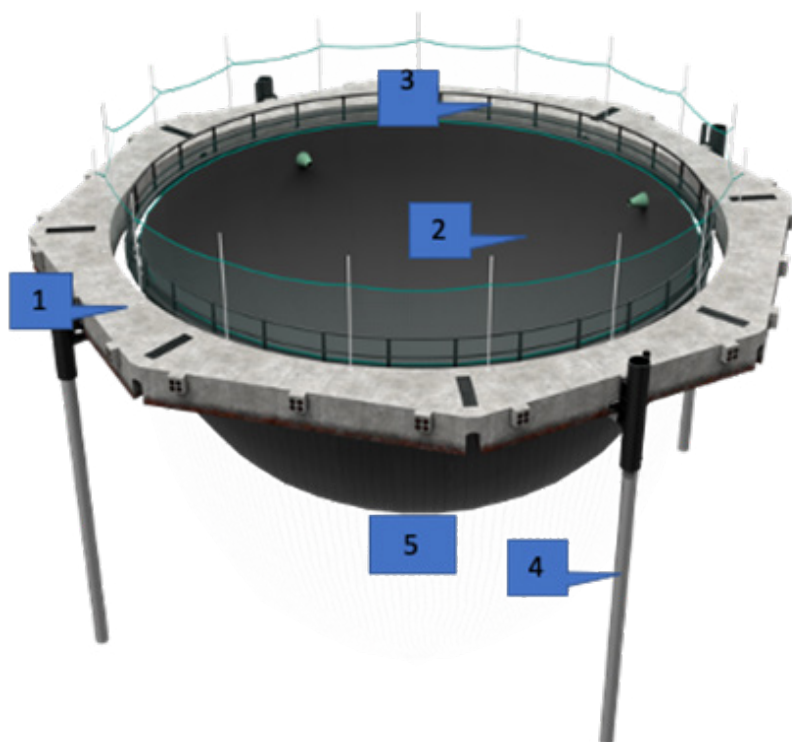
3.5 FUNKSJONSTESTING

Før merden ble tatt i bruk ble det gjennomført funksjonstest av anlegget uten fisk.

Anlegget består av mange komponenter, som hver for seg har egen funksjon. Sammenstilt danner de det lukkede kompakte anlegget. De viktigste hovedkomponentene er under patentering (Håmsø Patentbyrå AS).

Oppsummering av resultater fra funksjonstesting og designendringer er vedlagt ([Vedlegg 4](#) og [5](#)). Det vises også til sertifiseringsrapport utstedt av DNV GL som også inneholder testing av enkeltkomponenter for sertifiseringsprosessen ([Vedlegg 2](#)).

Funksjonstesten av en merd er gjennomført for følgende hovedkomponenter: Flytering i betong (1); Lukket pose (2); Hamsterhjul/oppdriftssystem (3); Innløpssystem (4); Avløpssystem (5); Sensorikk og pumpe-systemer, Automasjon, overvåking og Annet (figur 3-1).



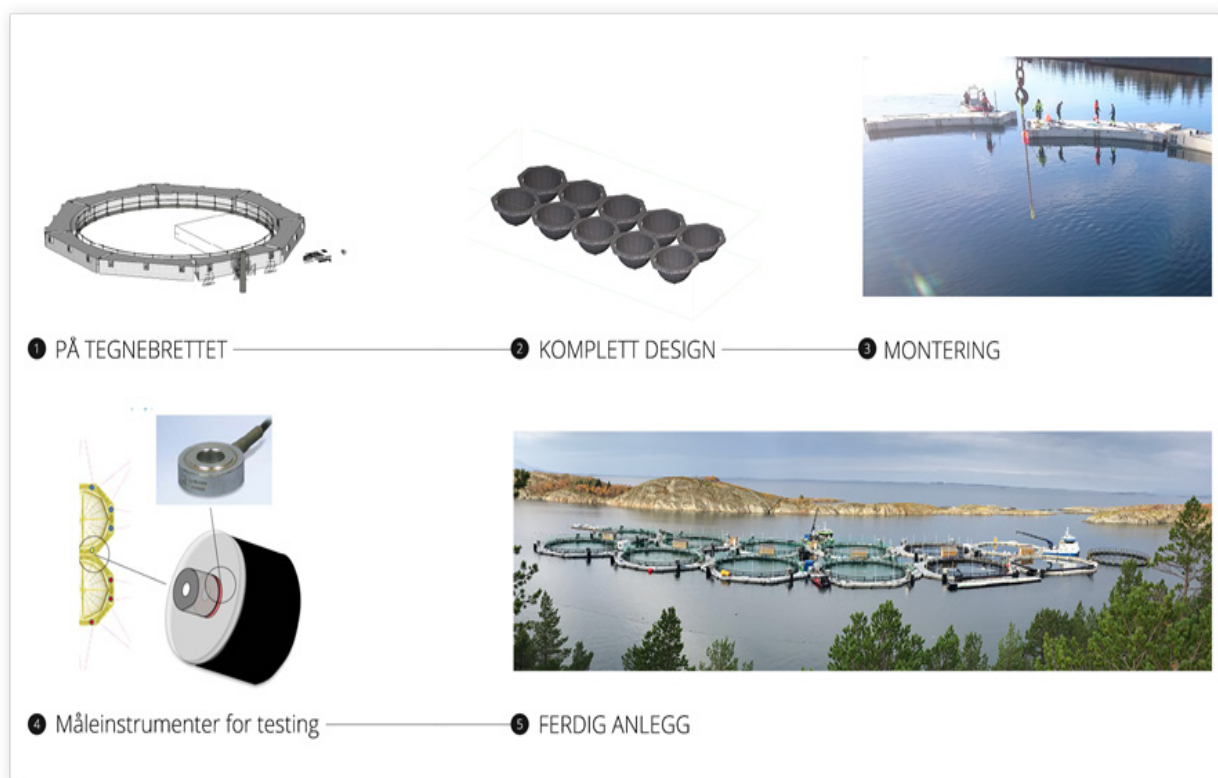
Figur 3-1: Modell av en semilukket merd med flytering i betong (1), lukket pose (2), hamsterhjul/oppdriftssystem (3), innløpssystem (4), avløpssystem (5)

3.6 PRODUKT- ANLEGGSSERTIFISERING

DNV GL (Noomas AS) har arbeidet med Akvadesign AS under konstruksjons- og dokumentasjonsprosessen, og har ved ferdigstilling av enhetene utstedt produktsertifiseringsbevis til Akvadesign AS, med produktsertifiseringsnummer PRONO 071-03. Produktsertifiseringsbeviset følger vedlagt (Vedlegg 6).

Anleggssertifikat med 5 års varighet etter NYTEK- forskriften 2012, Kap. 7, ble utstedt av DNV GL 20.06.2018 (Vedlegg 7). Ved anleggssertifiseringen ble det også skrevet ut en sjekklister sammen med eventuell avviksrapport for å sikre at fastsatt prosedyre følges gjennom kontrollprogram før utsett av fisk (Vedlegg 8).

En trinnvis illustrasjon av prosessen fra tegning til ferdig anlegg er vist i figur 3-2.



Figur 3-2: Trinnvis utvikling av utviklingsprosess fra idé til virkelighet.

4. OPERASJONSRESULTATER FRA MÅLEPROGRAMMET

Til gjennomføringen av utviklingsprosjektet ble det utviklet et program for å kunne dokumentere tekniske og biologiske resultater i driftsfasen.

Programmet består av en del for teknisk dokumentasjon (HAMNSUNDET) og en del for biologisk dokumentasjon (KOMPAKT). Programmet for både teknisk og biologisk dokumentasjon av utviklingsprosjektet følger vedlagt ([Vedlegg 9](#)). Kapittelet omhandler operasjonsresultater fra gjennomførte produksjonssykluser fra juni 2018 til og med august 2020, men også noe støttende dokumentasjon fra forskningsfasen.

4.1 TEKNISK MÅLEPROGRAM - «HAMNSUNDET»

Våren 2017, ble det påstartet et arbeid med utforming av program for teknisk dokumentasjon i driftsfasen med Akvafuture AS sin nye lukkede merdteknologi. I August 2017, etter tilsagn av en utviklingstillatelse i juni 2017, ble programmet ytterligere konkretisert og beskrivelse med kostnadsberegninger for gjennomføring ble satt opp av Force Technology Norway AS (FTN).

I påvente av saksbehandling av klage om to utviklingstillatelser var det endringer i FTN sin organisasjon, og ny versjon ble laget.

Det er denne versjonen som ble oversendt Fiskeridirektoratet og ligger til grunn for den tekniske dokumentasjon av utviklingsprosjektet.

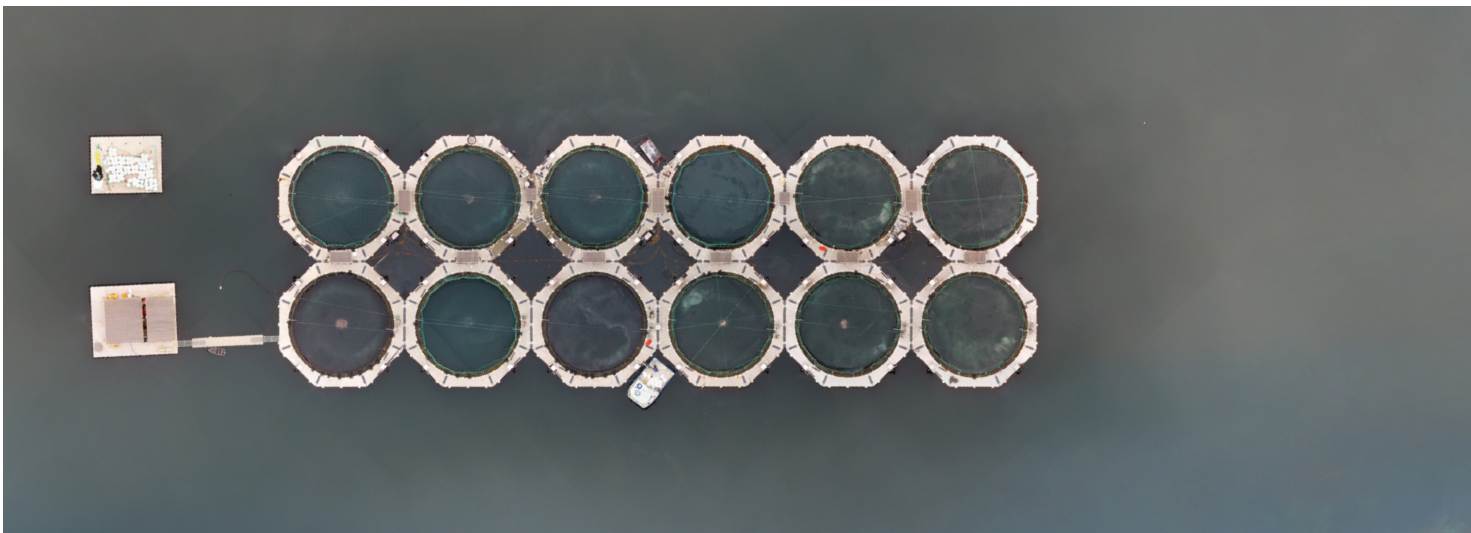
Programmet bestod i påmontering og utsett av sensorer til real-time målinger for kalibrering av eksisterende modeller for den nye teknologien (designbasis). Prosjektet ble igangsatt i august 2018 med måleserie fra november 2018 til november 2019.

4.1.1 HOVEDMÅL TEKNISK PROGRAM

Prosjektet hadde som hovedmål å:

- Utvikle en kalibrert data-modell for anlegget på Hamnsundet (utviklingsprosjektet) og fremtidige anlegg ved ulike lokaliteter
- Optimalisere fremtidige anleggsdesign med hensyn på sikkerhet og kostand
- Verifisere funn i lokalitetsrapport, og mulige forenklinger og forbedringer til fremtidige lokalitetsrapporter
- Verifisere design av fortøyning og mulige forbedringer og forenklinger til fremtidig design av fortøyning

Dette ble gjennomført på bakgrunn av målinger av faktiske belastninger på det lukkede oppdrettsanlegget under varierende belastninger, og ved bruk av målingene til kalibrering og forbedring/forenkling av data-modell for det lukkede anlegget.



4.1.2 DELMÅL TEKNISK PROGRAM

Under er et utdrag fra programmet for teknisk dokumentasjon i driftsfasen. Prosjektet bestod av følgende deltakere:

Fra Force Technology Norway AS: Julle Ekeborg, Pål Tuset og Bogdan Iwanowski

Fra Akvafuture AS: Anders Næss og Trond Otto Johnsen

RESULT	USAGE
Actual Measurements Of Wave, Current And Wind At Site	<ul style="list-style-type: none"> Statistical data of environmental load at site Real-time data of environmental load at site Basis for comparison of wave parameters measured at site vs. calculated in site survey report Input for calculations
Actual forces in wires and mooring lines	<p>Information about forces in wires and mooring lines for:</p> <ul style="list-style-type: none"> Normal operation conditions (ULS) Extreme conditions Over time with respect to fatigue and design life (FLS) <p>Basis for evaluating dimensions of wire and mooring line components</p> <p>Input for calculations</p>
Actual movement of pontoons under measured environmental loads	<ol style="list-style-type: none"> Input to design specification for equipment Input to operation and maintenance planning. (When movements under given weather condition are identified, this can be a tool in planning of operation and service of the fish farm). HMS for personnel Movement (excursion) of fish farm Input for calculations
A calibrated and verified computer model	<ul style="list-style-type: none"> Documentation for the 12-cage fish farm of Hamnsundet Create a generic calculation tool that serves as a design and documentation tool of Akvafuture's fish farms for a range of cages (6, 10, ...18) with respect to environmental loads and mooring line layout.

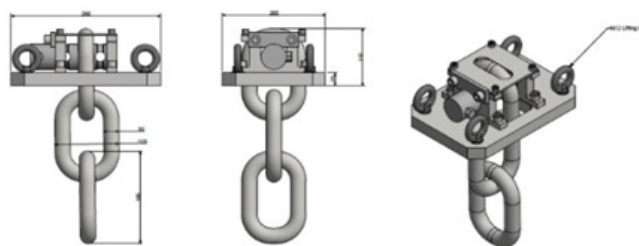
4.2 TEKNISKE RESULTATER - «HAMNSUNDET»

4.2.1 MÅLINGER OG BEREGNINGER

Sensorikk og oppsummering måleserie

FORCE Technology utstyrte anlegget med en omfattende sensorpakke for å utføre langtidsmålinger over en 12-måneders periode. Målinger fra sensorene ble post-prosessert for å identifisere både maksimumsverdier og statistiske data. Resultatene som er presentert i dette dokumentet er for perioden 20.12.2018-01.11.2019. Eksempel på måleutstyr er vist i figur 4-1, lastecelle.

Alt utstyr ble testet i 1 måned før måleperioden startet. Ytterligere detaljer om instrumentpakker og montering er gitt til Fiskeridirektoratet gjennom tidligere oversendt dokumentasjon ([Vedlegg 10-12](#)).



Figur 4-1: Oppheng for lastpinne, lastfordelingsplaten og låsing av lastcellen.

Hensikten med målingene var å kartlegge de faktiske miljølastene ved lokaliteten, og dokumentere krefter og bevegelse i Akvafuture sitt anlegg. Måleresultatene gir økt kunnskap om konseptet for lukkede merder, samt økt kunnskap for næringen om både merdteknologi og gjennomføring av undersøkelser av hvilke krefter som påvirker anleggskonstruksjonen under ulike miljøforhold.

Et hovedresultat av arbeidet er at Hamnsund-anlegget er mer robust enn tidligere dokumentert fra forskningsfasen. Maks sjøtilstand som var registrert i måleperioden er $H_s = 0.7$ m, og maks bølgehøyde var $H = 1.25$ m. Konseptet er beregnet og sertifisert for $H_s = 1.2$ m, og resultater fra målinger og analysemodell indikerer at strukturen kan tåle høyere bølgelaster enn dette. Basert på erfaringer i dette prosjektet, anser FORCE Technology imidlertid at det er gode muligheter for at konseptet, mekanisk sett, kan tåle sjøtilstander opp mot $H_s = 1.8$ m ([Vedlegg 11 - Validering, s.5](#)).

Det ble registrert to stormer i løpet av måleperioden; 23.mars og 22.oktober 2019. Maks signifikant bølgehøyde som er registrert er $H_{s_max} = 0.75$ m. Høyeste strømmåling på 5 meters dyp var registrert til $v_{max_5m} = 0.45$ m/s

Verdier for strøm i lokalitetsrapporten (basert på korttidsmålinger) er i god overensstemmelse med langtidsmålinger. Alle krefter som ble målt i anlegget for fortøyningslinjer og vaierkoblinger er på akseptable nivåer og lavere enn forventet basert på tidligere beregninger. Det tyder på at anlegget har mindre utslag og er mere robust enn tidligere dokumentert.

For vaierne som forbinder merdene (UU-koblinger), er det registrert en reduksjon i strekkraft i løpet av måleperioden. Det kan tyde på at disse eventuelt bør etterstrammes etter en viss tid, hvis samme forspenning skal opprettholdes.

Krefter og bevegelse til anlegget som er dokumentert i denne rapporten er sammenlignet med beregninger fra en forbedret analysemodell. Dette er tidligere rapportert til Fiskeridirektoratet gjennom halvårsrapport 2 halvår 2019 ([Vedlegg 11 - validering](#)).

MILJØLASTER

Langtidsmålinger for miljødata utført av FORCE Technology på lokaliteten (figur 4-2) viser at:

- Det ble registrert to stormer i løpet av måleperioden, 23.mars og 22.oktober 2019
- Den høyeste bølgen som ble registrert var under uværet 22.oktober og målte 1,125 m høy.
- Den høyeste signifikante bølgehøyden målt i perioden er $H_s = 0,750$ m.
- Generelt viser målingene at det er små bølger i Hamnsundet med gjennomsnittlig $H_s = 0,146$ m, som tilsvarer bølgehøyde på $H = 0,277$ m.
- For sommermånedene er det svært lave bølger.
- For små bølger vil nøyaktigheten til AWAC bølgesensoren nærme seg oppløsningen, og usikkerheten i til målingene øke.
- Målinger på bølgeretning er usikker for små bølger på dypt vann.
- Det kan tyde på at verdier for dimensjonerende bølger i lokalitetsrapporten er ikke- konservative i forhold til det som er registrert av FORCE Technology.
- Maks måleverdier for strøm er 0,35 m/s og 0,45 m/s for henholdsvis dypvannsensoren på 45m vanddyb og gruntvannssensoren på 5m vanddyb.
- Maks måleverdi for strøm fra lokalitetsrapporten er 0.31 m/s, som ble målt i april. Dette er samme verdi som målt av FORCE i samme måned.
- Gjennomsnittlig måleverdier for strøm er 0,128 m/s og 0,155 m/s for henholdsvis dypvannsensoren på 45 m vanddyb og gruntvannssensoren på 5m vanddyb.
- Verdiene for strøm fra lokalitetsrapporten basert på 1-månedes målinger og for langtidsmålinger over ett år har god overensstemmelse og gir dimensjonerende laster for strøm i samme størrelsesorden.



Figur 4-2: Kartskisse som viser installasjon med 12 merder på Hamnsundet og Awac sensorer (i blått)

Tabell 4-1, Tabell 4-2 og Tabell 4-3 oppsummerer maks og gjennomsnittlig målte verdier av bølger, strøm og vind.

Tabell 4-1: Gjennomsnittlig og maks målinger av bølger (Hs=Signifikant bølgehøyde, Tp=Bølgeperiode og H=bølgehøyde).

	GJENNOMSNTTLIG BØLGE		MAKS BØLGEPARAMETERE		
	Hs	Tp	Hs	Tp	H
AWAC 1 DYPVANNSSENSOR	0.146 M	1.823 S	0.750 M	3.020 s	1.250 m
AWAC 2 GRUNTVANNSSENSOR	0.083 M	1.807 S	0.480 M	2.640 s	0.863 m

Tabell 4-2: Gjennomsnittlig og maks målinger for strøm.

	GJENNOMSNTTLIG STRØM		MAKS STRØM	
	5m	15m	5m	15m
AWAC 1 DYPVANNSSENSOR	0.128 M/S	0.060 M/S	0.352 M/S	0.185 m/s
AWAC 2 GRUNTVANNSSENSOR	0.155 M/S	-	0.452 M/S	-

Tabell 4-3: Gjennomsnittlig og maks målinger for vind.

	10-MIN VINDHASTIGHET		MAKS VINDHASTIGHET	
	U10min (m/s)	Retning (grader)	U (m/s)	Retning (grader)
VIND SENSOR 4M	20.38	214	31.80	177

KREFTER I STRUKTUREN

Målinger av krefter i strukturen viser at:

- Det er ikke registrert slakke fortøyningslinjer i målingene, hvilket betyr at fortøyningen har vært forsvarlig for lastene i Hamnsundet i løpet av måleperioden
- For vaierkoblingene mellom enhetene er det observert en reduksjon i strekkraft i løpet av måleperioden. Det er vanlig at lengde på vaier øker etter en tids bruk, og evt. Disse må da etterstrammes hvis samme forspenning skal opprettholdes. Så lenge vaieren er tilstrekkelig forspent slik at gummidemper er holdt på plass og betongelementene ikke kommer i kontakt med hverandre, er funksjonaliteten til koblingen opprettholdt

Tabell 4-4 og Tabell 4-5 oppsummerer maks og gjennomsnittlig målte verdier av strekk i fortøyningslinjer og vaierkobling mellom merder (UU-kobling).

Tabell 4-4: Krefter i kobling mellom merder ved stille sjø og storm.

SENSOR ID	BETONGELEMENTER	MÅLTE KREFTER ROLIG SJØ [TONN]		MAKS MÅLTE KREFTER – STORM [TONN]	
		Mars	Oktober	Mars	Oktober
AB-W	A-B	1.55	NA	2.2	NA
AB-E	A-B	1.25	1.13	1.6	1.7
BD-N	B-D	1.30	1.05	1.8	1.8
BD-S	B-D	1.30	1.22	1.6	1.6
EF-W	E-F	1.63	1.28	1.6	1.5
EF-E	E-F	1.40	NA	1.75	NA
FH-N	F-H	1.43	1.33	1.6	1.6
FH-S	F-H	1.73	1.63	1.9	1.75
IJ-W	K-L	1.53	1.01*	1.25	1.15
IJ-E	K-L	1.14	0.71*	1.7	0.85
GI-N	I-K	1.36	1.18*	1.5	1.4
GI-S	I-K	1.50	1.26*	1.6	1.4

* Tegn på forlengelse av vaier etter nærmere ett års drift

Tabell 4-5: Krefter i fortøyningslinjer ved stille sjø og storm.

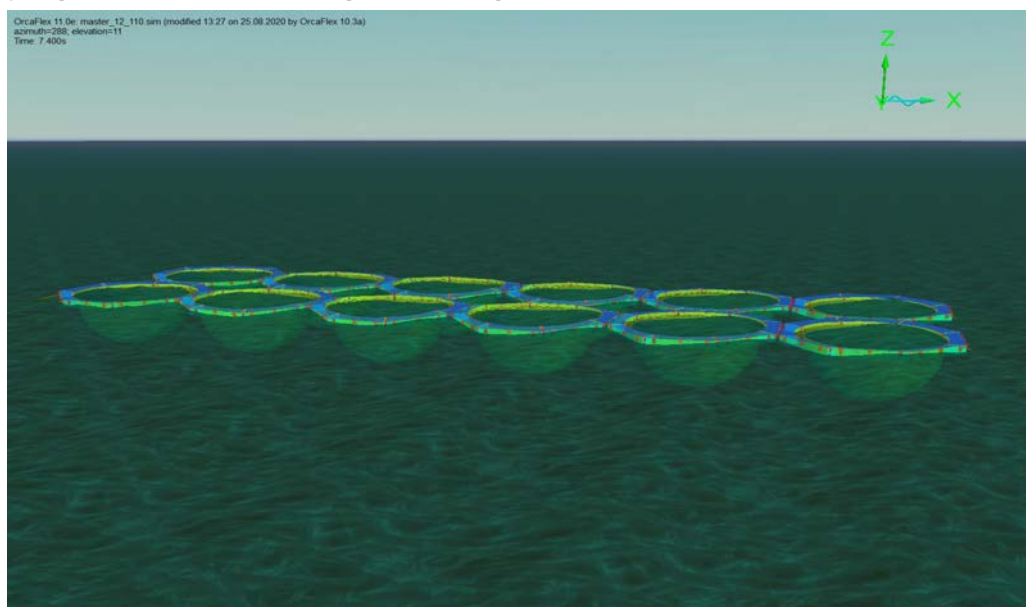
FORTØYNINGSLINE NR.	GJENNOMSNIITTLIGE KREFTER ROLIG SJØ [TONN]		MAKS MÅLTE KREFTER STORM [TONN]	
	Mars	Oktober	Mars	Oktober
2	2.95	3.05	6.0*	8.0*
3	1.95	1.90	4.0	8.0*
6	1.45	1.40	1.6	1.5
12	1.90	1.80	2.8	2.8
17	2.10	2.05	4.0	4.0

* Beste estimat under delvis bortfall av sensorer under storm, se figur C3.0.2, C.5.0.1 og 5.0.2 i Appendix C (tidligere oversendt)

4.2.2 TEKNISKE RESULTATER - VALIDERING AV ANALYSEMODELL

ANALYSEMODELL

FORCE Technology har utviklet og kalibrert en analysemodell for et kompakt lukket anlegg med 12 merder, basert på faktisk oppbygning av og innsamlede data fra anlegget i Hamnsundet. Hensikten med analysemodellen er å beregne konstruksjonsstyrken til anlegget og være et verktøy for dimensjonering og optimalisering av fremtidige Akvafuture-anlegg. Modellen er bygget opp parametrisert slik at anlegg for nye lokaliteter og med andre konfigurasjoner enkelt kan modelleres og beregnes. Analysemodellen er verifisert ved å sammenligne beregnede krefter og bevegelse i anlegget, med målte verdier fra sensorene på Hamnsundet. Analysemodellen er laget i programvaren Orcaflex og er vist i Figur 4-3.



Figur 4-3: Analysemodell i Orcaflex med 12 merder (kilde: Force Technology rapport 83527 - Validering av analysemodell)

Av forbedringer fra tidligere analysemodell inngår:

- Forbedret representasjon av de hydrodynamiske egenskapene til pose og betongelementer
- Bedre demping i vaier-buffer koblinger
- Kalibrering av fortøyningslinjer
- Parametrisert oppsett for modellering av nye anlegg
- Betydelig raskere simuleringstid

Arbeidet i dette prosjektet viser at bevegelsen til betongelementene og strekk i vaiere er noe høyere beregnet i den opprinnelige analysemodellen. Tidligere modellering viste store utslag (bevegelser i konstruksjon og mellom betongelementer). I den nye og kalibrerte modellen er dette eliminert, men ytterligere forbedringer kan gjøres for å oppnå enda bedre samsvar med målinger.

MAKS HS

Et hovedresultat av arbeidet er at dette anlegget er mer robust enn tidligere dokumentert. Maks sjøtilstand som var registrert i måleperioden er $H_s = 0.7$ m, og maks bølgehøyde var $H = 1.25$ m. Konseptet var tidligere beregnet og sertifisert for $H_s = 1.2$ m, og resultater fra målinger og analysemodell viser at strukturen kan tåle høyere bølgelaster enn dette. For å dokumentere maks H_s for Akvafuture sitt konsept vil flere analyser av generiske anlegg og laster være nødvendig. Basert på erfaringer i dette prosjektet, anser FORCE Technology imidlertid at det er gode muligheter for at konseptet, mekanisk sett, kan tåle sjøtilstander opp mot $H_s = 1.8$ m (Vedlegg 11 - Validering, s 5).

FORTØYNING

Som beskrevet i rapporten av måledata, er bølgelastene som ble lagt til grunn i den akkrediterte fortøyningsanalysen lavere enn hva målingene fra Hamnsundet tilsier, det vil si at dimensjonering av fortøyningen kan være basert på overdimensjonerte laster.

Selve layout og design av fortøyningen er fornuftig, og FORCE Technology ser ikke behov for endringer i fortøyningsarrangementet basert på funn i prosjektet. Som en generell anbefaling, kan forspenningen økes noe fra de målte verdiene og kontrolleres i løpet av driften.

DESIGNOPTIMALISERING

Resultater fra Hamnsundet bekrefter at designet fungerer og er robust. Siden anlegget kan dokumenteres å være mer robust enn tidligere modell viste og det er utarbeidet et forbedret analyseverktøy, åpner det for nye muligheter for fremtidige anlegg. Optimalisering av dimensjoner kan vurderes, men besparelse ved å redusere størrelse på vaiere og fortøyningslinjer er antatt relativt liten. Resultater fra dette prosjektet indikerer at det potensielt kan være større gevinst gjennom design-optimalisering og kostnadseffektivisering ved oppskalering:

- Flere merder i konstruksjonen (må testes teoretisk og praktisk)
- Mer utsatte lokaliteter (større laster og krav)

BEGRENSNINGER TIL ANLEGGET

Det er FORCE Technology sin vurdering at ved økte laster vil begrensning for et anlegg ikke være knyttet til styrken på enkeltkomponenter men heller være relatert til:

- Bevegelse til betongelementer
- Sloshing
- Overtopping

Sloshing og overtopping er ikke vurdert. Bevegelse til betongelementer er målt for $H_s = 0.7$ m, men beregningene bør forbedres ytterligere for en god prediksjon av respons i høye sjøtilstander. Hvis store responser for høye sjøtilstander blir en utfordring, er det mulig å justere utformingen av betongelementene slik at de hydrodynamiske egenskapene blir gunstigere (på samme måte som skroget på et skip optimaliseres for sjøen det skal ferdes i).

TEKNISK OPPSUMMERING

Målinger, beregninger og modellsimulering bekrefter at designet fungerer og har mer enn tilstrekkelig konstruksjonsstyrke for å stå imot miljøkreftene anlegget kan utsettes for ved lokaliteten Hamnsundet. Anlegget har vist seg driftssikkert og i stand til å opprettholde gode miljøbetingelser for trivsel og vekst av laks med inntil 50 kg biomasse per kubikkvann i merdene.

4.3 BIOLOGISK MÅLEPROGRAM - «KOMPAKT»

Programmet «KOMPACT» (NFR-prosjekt 269013) ble etablert for forsknings- og utviklingsaktiviteten til selskapet. Utviklingsprosjektet inngår i deler av prosjektet, og programmet er godkjent som måleprogram for målkriteriene som ligger til grunn for utviklingstillatelsene.

4.3.1 HOVEDMÅL BIOLOGISK PROGRAM

Prosjektet Kompakt skal bidra til å løse de to viktigste spørsmålene ved utvikling og bruk av lukket merdteknologi:

- 1) Hva er det reelle produksjonspotensialet i slike systemer?
- 2) Hvor stor reduksjon av organisk utslipp er det mulig å oppnå?¹

I alle aktivitetene som involverer fisk skal det inngå overvåking av fiskens helse og velferd.

4.3.2 DELMÅL BIOLOGISK PROGRAM

1. Utvikle sanntids overvåking og styring av vanngjennomstrømming.
2. Utvikle, dokumentere og ta i bruk standarder for strømsetting som sikrer et godt merdmiljø og god vekst.
3. Ta i bruk ny og tilpasset teknologi for filtrering og behandling av sedimenterbart slam i kommersiell skala.
4. Beregne renseseffekt og produksjonskapasitet ved ett fullskala MTA/IMTA system der man dyrker sukkertare og blåskjell på bakgrunn av forsøk utført i minianlegg (dette ble ikke tatt inn som en del av utviklingsprosjektet, og vil ikke bli beskrevet her).
5. Beskrive hvordan dypvann påvirker det mikrobielle miljøet i de lukkede merdene og hvilke konsekvenser dette kan ha for fiskehelse og velferd.
6. Beskrive døgnvariasjonen i vannkvalitet og metabolisme som begrensende faktorer i systemet.

¹ Dette ble ikke godkjent som grunnlag og inngår ikke fullt ut i utviklingsprosjektet.

4.3.3 PROSJEKTPLAN

For oppnåelse av hovedmål og delmål ble måleprogrammet delt inn i hovedaktiviteter (H1-H4).

H1: DYNAMISK OG SELVSTYRT MERD

Denne hovedaktiviteten omfatter også tekniske mål for prosjektet, men sorterer opprinnelig under det godkjente måleprogrammet KOMPAKT og beskrives her. Aktiviteten har flere innovasjonsoppgaver som skal løses. Utfordringen med lukkede merdsystemer er å få vanninntak og utløp til å samspille slik at vanngjennomstrømmingen bidrar til et godt vannmiljø for alle størrelser og tettheter av fisk, og under ulike miljøforhold. Viktigste leveransepunkter i utviklingsprosjektet:

1. Validering av pumpeytelse (inntaksvann), og testing av teknologi for samkjøring av pumper og avløp.
2. Kartlegge effekten av strømsetting i hele merdvolumet i tid og rom.
3. Testing og validering av ny sensorteknologi.
4. Evaluering og eventuell nyutvikling av nødvendige styringssystemer.
5. Videreutvikling av verktøy for fjernovervåking og styring av alle kritiske styringspunkter i merdene.

6. H2: GJENVINNING AV FÔRBASERTE UTSLIPP

I denne hovedaktiviteten skal vi analysere og beskrive vannkvalitet i de lukkede merdene, fiskens metabolisme og teste ut ny teknologi for filtrering og lagring av slam. Slambehandling og bearbeiding av slam ble ikke tatt inn i utviklingsprosjektet, kun oppsamling av slam. Det vil derfor kun rapporteres på oppsamling av slam i denne rapporteringen. Viktigste leveransepunkt i utviklingsprosjektet:

1. Testing av ny teknologi for filtrering av slam, kartlegge sammensetning og volum av slam gjennom produksjonssyklus.

H3: STABILT MIKROBIOLOGISK MILJØ I LUKKET MERD.

Aktiviteten omfatter karakterisering av det mikrobielle miljøet i anlegget og sporing av smitte internt i systemet. Viktigste leveransepunkter i utviklingsprosjektet:

1. Innsamling og karakterisering av bakterieisolat som kan brukes i vaksine.
2. Kartlegge mulig overføring av smitte fra merdenes avløp til vanninntakene (innen merd og mellom merder) ved bruk av svært følsomme DNA analyser utviklet ved Veterinærinstituttet.

H4: GOD FISKEVELFERD I LUKKET MERD.

Aktiviteten omfatter overvåking av kjente sykdommer, stress, miljørelaterte lidelser, vekst og dødelighet. Alle resultater skal sammenlignes med kjente standarder fra oppdrett i åpne merder og der det er mulig, og med data fra andre forsøk med lukket merdteknologi. Viktigste leveransepunkter i utviklingsprosjektet:

1. Analyse av vekst og fôrutnyttelse i alle utsettgrupper
2. Analyse av dødelighet med vekt på årsakspesifikk registrering.
3. Teste tre modeller for velferdsregistrering: (1) eksteriør score og produksjonsdata, (2) vannkvalitetsdata og miljødata og (3) bruk av blodparametere. Foreslå operasjonelle velferdsindikatorer (OVI) til bruk i anlegg med lukkede merder.
4. Beskrive døgnvariasjonen i vannkvalitet og metabolisme som begrensende faktorer i systemet.
5. Evaluering av teknologiens reelle produksjonskapasitet, sett i lys av helse- og velferdsdata.



4.3.4 OPPSUMMERING AV PRODUKSJONSSYKLUSER

Lokalitet Hamnsundet (lokalitet 38057, Vevelstad kommune) var den tredje lokaliteten med lukket merdteknologi som ble etablert av Akvafuture AS. Lokaliteten har vært drevet med to utviklingstillatelser: Akvadesign AS, N VS 0011 og 0012. Begge med et volum på 780 MTB, til sammen 1560 t. Disse har vært samlokaliserte med Akvafuture sine tre FoU-tillatelser: N BR 0045, N BR 0046 og N BR 0047. Utviklingstillatelsene har en gyldighet fra 06.11.2018 til 06.11.2033, FoU-tillatelsene ble innvilget fra 15.12.2015, med nylig innvilget forlengelse til 16.01.2024. Lokalitetens samlede tillatte kapasitet er 2340 tonn MTB. Lokaliteten ligger i PO8 (Helgeland til Bodø), ett av de ni områdene som fikk grønt lys ved vurderingen av trafikklyssystemet i februar 2020.

Dokumentasjonen fra produksjonssykluser og annen biologisk dokumentasjon følger vedlagt ([Vedlegg 10-12](#)).



Figur 4-4: Stor laks i lukket merd i utviklingsprosjekt på Hamnsundet. Bilde: Akvafuture AS.

Vi startet produksjonen etter at det nye anlegget var ferdig i mai 2018. Innledningsvis ble det testet noen enkeltsykluser med fisk, mens den første normale produksjonssyklusen startet høsten 2018 med utsett av stor smolt fra lokalitet Andalsvågen (Akvafuture AS sine FoU-tillatelser og FoU-lokalitet). Det er produsert flere sykluser over tid og i mange merder.

Næringen har over tid diskutert og sett på muligheten for produksjon av stor smolt (600-1000 gram) i lukkede anlegg for overføring til åpne merder og påvekst frem til slakt.

Dette ville gitt mulighet for 12-måneders sykluser med åpne merdanlegg og en mer effektiv produksjon og bruk av lokaliteter og utstyr. Nylig har det vært diskusjoner om mulighet for produksjon av smålaks (ca. 2 kg) i lukkede merder for overføring til åpne merder og påvekst frem til slakt. Dette ville gitt mulighet for 6-måneders sykluser med åpne merdanlegg og en ytterligere effektivisering i produksjon og bruk av lokaliteter og utstyr. En viktig motivasjon for produksjon av smålaks er at man vil kunne unngå behandlinger mot lakselus med så kort produksjonstid i sjø.

Gjennomføringen av vårt prosjekt og valg av produksjonssykluser er gjort med hensyn til behovet for slik kunnskap. Den viktigste leveransen er imidlertid produksjon av laks helt frem til normal slaktevekt, og det er dette som er hovedfokuset i prosjektet (figur 4-4).

Produksjonen ved Hamnsundet har foregått i flere grupper, med hovedvekt på produksjon av slaktefisk i lukket merd. Ved lokaliteten har det i perioden også vært produsert storsmolt (500 – 1000 g) og smålaks (1500 – 2000 g). Fisken som ble satt inn på Hamnsundet i gruppe 1 og 2 ble flyttet fra Akvafuture sin FoU-lokalitet Andalsvågen I (lokalitet 38037, Vevelstad kommune).

Fisk som var ferdig produsert til smålaks på Hamnsundet (gruppe 2) ble deretter tatt inn som gruppe 3 for produksjon fram til slaktefisk. Ved produksjon av storsmolt høsten 2019 ble smolten satt ut fra settefiskanlegget Grytåga settefisk (lokalitet 10948, Vefsn kommune). Gruppe 5 ble satt ut som storsmolt etter flytting fra Akvafuture sin lokalitet Sæterosen. Ei oppsummering av gruppene er gitt i tabell 4-6. Detaljer om resultater fra disse gruppene blir gitt i 4.3.9 God fiskevelferd i lukket merd og i [vedleggene 10-12](#).

Tabell 4-6: Oppsummering av produksjonsgrupper, Hamnsundet, november 2018 til august 2020.

GRUPPE	START	SLUTT	DAGER	ANTALL	VEKT (g)
1	24.06.2018	09.09.2019	442	573 704	848
2	01.07.2019	27.11.2019	149	299 749	526
3	29.11.2019	15.06.2020	199	310 175	1 969
4	13.07.2019	31.12.2019	171	598 390	413
5	01.06.2020	31.08.2020	90	570 496	541
SUM	24.06.2018	01.09.2020	783	2 352 514	770

4.3.5 H1 DYNAMISK OG SELVSTYRT MERD (KOMPAKT)

Registrerte produksjons- og miljødata viser at vannmengde og vannkvalitet i hovedsak ligger innenfor de standarder og grenseverdier vi har lagt til grunn for produksjonen av laks i lukkede merder i dette prosjektet, se også beskrivelse av kjente standarder i Thorarensen og Farrell, 2011; Remen, 2012; Calabrese, 2017; Sveen, 2018 og Nilsen, 2019.

Tetthet har vært mellom 4 og 53 kg/m³, oksygenverdiene har vært stabile og innenfor sikre biologiske rammer, utføring har vært avpasset volum og vannmengde med en gjennomsnittlig fôrstyrke på bare 13 g/m³ og maksimumsverdi på 46 g/m³. Det er en viss temperatargevinst ved bruk av dypvann i vinterhalvåret, men temperaturprofilen gjennom året vil være avhengig av hvor lokaliteten er plassert. Data for merdmiljø som rapporteres nedenfor er samlet inn og validert i samarbeid mellom helsetjenestene og Veterinærinstituttet i perioden januar 2019 til juni 2020.

OKSYGEN

Gjennomsnittlig oksygenmetning (%) for alle merder på Hamnsundet var 91,4 (min=77, maks=134). Figur 4-2 viser analyser av forhold mellom oksygenmetning og biomassetetthet, spesifikt vannforbruk og forstyrke, men der den ekstreme maksverdien for oksygenmetning på 134 (%) ble utelatt.

Oksygenmetning sank signifikant med biomassetettheten i merdene. En lineær modell av O₂ metning som funksjon av biomassetetthet ga forholdet:

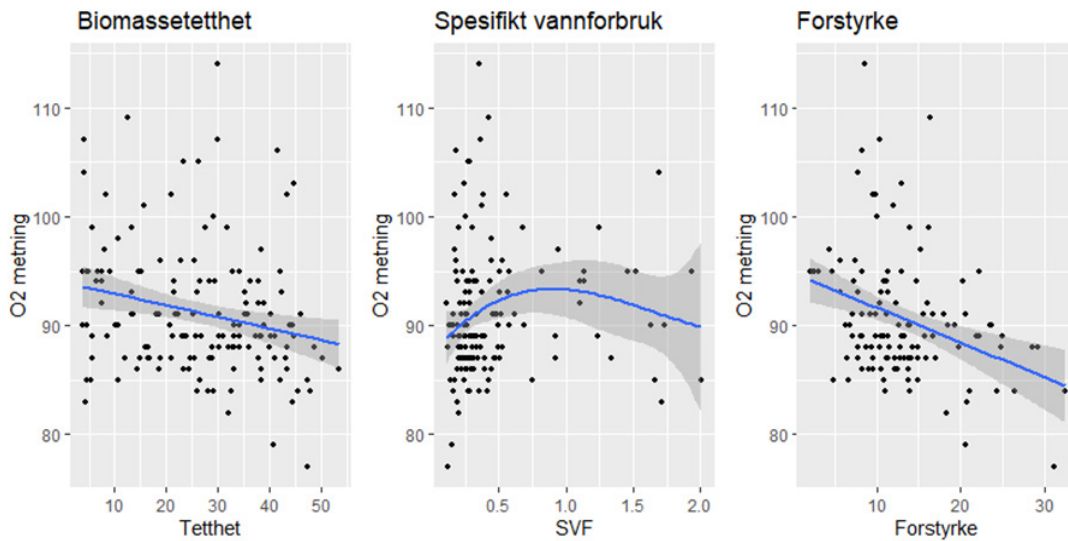
$$\text{O}_2 \text{ metning} = 93,9 - 0,11 \cdot \text{tetthet} \quad (\text{R-kvadrert} = 0,05, p < 0,005)$$

Dette innebærer at forventet oksygenmetning på over 85% for de største biomassetetthetene i merdene ved Hamnsundet i 2020, som tilsvarer 50 kg/m³ vannvolum (figur 4-5).

Oksygenmetning sank også signifikant med forstyrke. En lineær modell av O₂ metning som funksjon av fôrstyrke ga forholdet:

$$\text{O}_2 \text{ metning} = 94,8 - 0,32 \cdot \text{forstyrke} \quad (\text{R-kvadrert} = 0,11, p < 0,001; \text{figur 4-5})$$

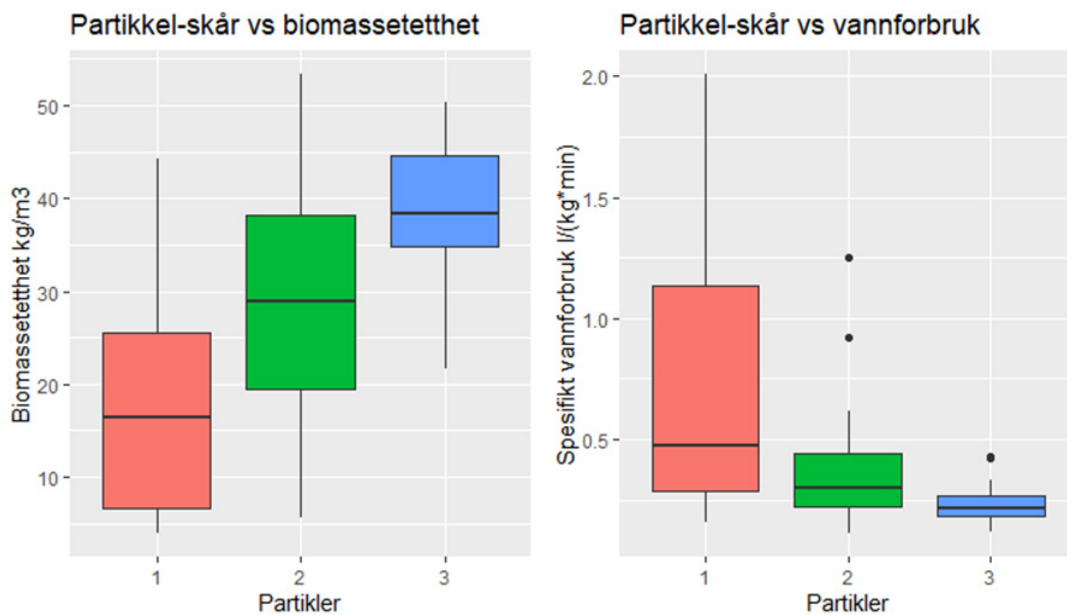
Forholdet mellom oksygenmetning og spesifikt vannforbruk var ikke signifikant, selv om det var en klar tendens til reduksjon av oksygenmetning ved lavt spesifikt vannforbruk (figur 4-5).



Figur 4-5: Oksygen metning (%) plottet mot tetthet av fisk i merdene (kg/m^3) (venstre panel), spesifikt vannforbruk ($\text{L}/\text{kg}/\text{min}$) (midtre panel) og fôrstyrke (g/m^3) (høyre panel). Blå linjer i venstre og høyre panel viser signifikante lineære regresjonsmodeller (grå felt gjengir 95% konfidensintervall). Blå linje i midtre panel viser en ikke-lineær tilpassing til data uten signifikant forklaringskraft.

PARTIKLER

Økende tetthet av fisk i merden og redusert spesifikt vannforbruk var forbundet med høyere partikkel-score (figur 4-6).



Figur 4-6. Boksplot som viser fordelingen av biomassetetthet (venstre panel) eller spesifikt vannforbruk (høye panel) i merder ved ulike vurderinger av partikkelinnhold i vannet (svart strek viser median, bokser viser 50% av observasjonene, stolper og punkter viser utstrekning av fordeling og ekstremverdier).

Både analysene av oksygenmetning og vurderingene av partikkelforekomst i vannet antyder at med de gjeldende tekniske spesifikasjonene er grenseverdien for maksimal tetthet på rundt 50 kg fisk/m³ også en grenseverdi for hva som er velferdsmessig forsvarlig for fisken.

En styrke ved denne typen merdteknologi er at med full styring og regulering av oksygentilsettingen kan nivåene av oksygen holdes godt innenfor forsvarlig nivå i hele merdvolumet også ved maksimal biologisk belastning. Dette er i kontrast til den oksygenvikten som er påvist i åpne merder med høy biologisk belastning, særlig ved høye vanntemperaturer (Johansson et al., 2006; Oppedal et al., 2011; Stien et al., 2018).

TEMPERATUR

Vi har tidligere vist at temperaturen er svært homogen inne i de lukkede merdene (Nilsen et al., 2019). Vi har i prosjektet KOMPAKT gjort en rekke dybdemålinger utenfor merdene og har vist (upublisererte data) at vanntemperaturen endres svært lite i løpet av den korte oppholdstida vannet har i merda, selv om temperatur i overflatevann og luft er høyere eller lavere enn det vannet som pumpes inn.

Vi ser også at Sæterosen er den mest utpregede fjordlokaliteten blant Akvafuture AS sine lokaliteter, at Andalsvågen har en lignende, men noe svakere sesongvariasjon, og at Hamnsundet har en annen profil og i sum ligner mer på de åpne naboanleggene Igerøy og Kalvhylla. Detaljer er vist i halvårsrapportene for 2019 og 2020.

AVLØPS- OG INNLØPSKONSTRUKSJON OG EGEN DOKUMENTASJON AV VANNMENGDER (MODELL)

Vi erfarte tidlig at det ikke var et godt samsvar mellom de tekniske spesifikasjonene på de vannpumpene som var levert til prosjektet og de målingene vi gjorde i merdene av vannhastighet og vannkvalitet. Vi gjennomførte derfor en serie med målinger av ulike oppsett med pumper og frekvensstyring av disse. Vi benyttet ulike pumpe-propeller og ulike dimensjoner i innløpene.

Det ble lest av frekvens på pumpe ved de ulike faste oppsettene og vannmengde ble målt manuelt med egen måler samt hastighetsmåler. Vi har utviklet en egen modell for beregning av vannmengder som leses av direkte i styringssystemet og som logges. Ut fra dette ble pumpeoppsettet optimalisert mot innløpsdimensjoneringen for å oppnå ønsket vannmengde og sirkulasjonshastighet i den lukkede merden.

Avløpene er testet med to forskjellige tekniske utforminger av samme funksjon. Ett avløp er laget slik at det kan reguleres med et reguleringsrør som kan heves og senkes slik at vannstrømmen ut av merden kan styres og reguleres. Den andre utformingen er konstruert slik at hele avløpet kan heves og senkes slik at vannmengden kan styres og reguleres.

Denne siste konstruksjonen er laget med en endring som sorterer slam/sedimenterbart avfall på en bedre måte en opprinnelig versjon. Samtidig vil muligheten med å kunne senke hele avløpet forenkle uttaket av fisk fra merden ved slakt/sortering el. Begge disse tilleggs-funksjonene har fungert etter målsettingen med den nye avløps-versjonen. Ny avløpsversjon er testet i merd 7-12 fra september/oktober 2018 til nå.

MÅLESERIE FOR SJEKK AV STRØMNINGSFORHOLD I MERD

Strømningsforholdene i de lukkede merdene er også undersøkt. Det ble satt opp vannhastighetsmålere (Nortek propellmåler, SD 6000) 4,5 og 9 meter fra posens ytterkant og på 1,5, 5 og 10 meters dyp. Data fra en av måleseriene i Kompakt, gjennomført på lokalitet Sæterosen i 2017 er vist i tabell 4-7. Denne viste god overenstemmelse med tidligere målinger i lukket merd (2015-2016), der vi har sett en homogen, horisontal vannhastighet gjennom hele den delen av merdens volum der det står fisk.

Tabell 4-7: Måling av horisontal strømhastighet (cm/s) i merd 4, Sæterosen 09.05.17 – 10.05.17. Beregnet gjennomsnittshastighet, signifikant minimumshastighet og signifikant maksimumshastighet. Målt med SD6000, 10 minutters måleintervall. Måling utført 4,5 og 9 meter fra posens ytterkant og på 1,5, 5 og 10 meters dyp. Antall målinger i hvert av de 5 punktene var henholdsvis 17, 113, 6,6 og 5.

STED	4.5 – 1.5			4.5-5			9-1.5			9-5			9-10		
	SNITT	MIN	MAX	SNITT	MIN	MAX	SNITT	MIN	MAX	SNITT	MIN	MAX	SNITT	MIN	MAX
M4	16.7	15.6	17.8	18.5	17.5	19.6	20.2	19.1	21.2	21.2	20.4	21.8	22.1	21.6	22.6

Visuelle observasjoner og målinger i merd og ved utmunning av innløpsrør på Hamnsundet har vist godt samsvar med disse målingene. Men omregning av pumpekapasitet til flow i m³/min er en av nøkkelparametrene i forskningsarbeidet med mål om å forstå merdmiljøet i lukkede merder, og vi jobbet i 2018 og 2019 med validering av flow også ved å beregne metabolismen til fisken. Ved å registrere fiskens metabolisme og ved å måle vannhastighet i merdene kan vi indirekte validere de angitte verdiene av flow som angis i anleggets styringssystem.

Gjennomsnittlig vannflow ved besøkene i 2019 var mellom 41 og 45 m³/min pr merd. Med en tetthet på 22 til 35 kg/m³ og et posevolum på 6000 m³ ville det gitt en retensjonstid på ca. 140 minutter og et spesifikt vannforbruk (gjennomsnittlig) på 0,21 til 0,24 L/kg/min.

Ved uttaket av vannprøver i november 2018 (KOMPAKT H4) fant vi en differanse i CO₂ mellom avløp og innløp i merdene 5, 7 og 8 på 3,75 til 5,7 mg/L. Ved å beregne oksygenforbruk ut fra fiskestørrelse, vanntemperatur og vannhastighet (Brett and Groves, 1979, Bergheim et al., 1993; Forsberg, 1995, Sanni og Forsberg, 1995) får vi en teoretisk verdi for oksygenforbruk (gjennomsnitt og maksimum). Målt (reelt) oksygenforbruk kan beregnes ut fra differansen mellom CO₂ i avløp og innløp, vanngjennomstrømming og respirasjonskoeffisienten (RQ).

Disse verdiene er satt inn i tabell 4-8. Vi fant en god overenstemmelse mellom beregnet oksygenforbruk og de verdiene som kommer fram fra målingene i felt. Det tyder på en akseptabel presisjon på anleggets estimat av biomasse og vannforbruk.

Tabell 4-8: Oksygenforbruk (MO₂=mg O₂/kg fisk/min), målt ved differanse av CO₂ i merdenes avløp og innløp og beregnet MO₂, døgngjennomsnitt og maksimumsverdi. Tallene er beregnet ut fra antall og snittvekt på fisk, vanntemperatur (8 °C) og en middels vannhastighet på 25 cm/s.

MERD	MÅLT MO ₂ (MG/KG/MIN)	BEREGNET MO ₂ (SNITT)	BEREGNET MO ₂ (MAKS)
5	1,3	1,5	1,8
7	2,1	1,8	2,2
8	2,3	2,0	2,4

Vannhastighet kan også brukes til validering av flow. På Hamnsundet hadde vi et teknisk uhell med strømmålerne slik at vi mistet data fra to måleserier. Men andre målinger innenfor prosjektet og observert vannhastighet over tid (visuell score) har vist en stabil hastighet på 20 – 25 cm/s.

Med formelen $C = a \times 16.7 \times Q / \text{Areal}$ (Tvinnereim, 1991) (a= konstant, her definert til 0,2, Q=flow som l/min, Areal=areal av innløpsrør) får vi med spesifikasjonene fra Hamnsundet en teoretisk vannhastighet på 25 cm/s, og det tyder på et rimelig godt samsvar mellom rapportert og faktisk flow.



MÅLESERIE FOR OPTIMALISERING AV SENSORER FOR OKSYGEN

I 2019 og 2020 gjennomførte vi måleserier hvor oksygensensorene ble plassert på ulike steder i merden for å finne det punktet som ville være mest representativ for hvilket oksygennivå fisken i merden vil ha tilgang til/oppleve. Vi ønsket også å redusere de variasjonene som vi så oppsto på grunn av feedback mellom sensorene og det automatiserte doseringssystemet.

Først kartla vi oksygenverdiene gjennom prøveserier på ulike dyp og avstand fra posekant. Deretter flyttet vi sensorene og registrerte effekten på nivå og stabilitet. Vi var spesielt opptatt av at sikkerheten måtte ivaretas og at oksygensystemet var i stand til å takle den daglige variasjonen i oksygenforbruk, særlig det økte behovet ved oppstart av morgenfôringa. Den siste valideringstesten ble gjort på lokalitet Sæterosen 14. til 20. januar 2020. Vi målte oksygenverdiene på 20 steder fra kant til senter av en lukket merd der fisken hadde en snittvekt på 2 937 g og med en tetthet på 40,3 kg/m³ for å få en realistisk test ved høy biologisk belastning. Resultatene er vist i tabell 4-9. Sammenlignet med måleseriene med gammel sensorplassering fant vi økt stabilitet (mindre ekstremverdier, redusert IQR) i hele posevolumet, og vi fant at oksygenstabiliteten var svært god også gjennom døgnet, til tross for variasjonene i fiskens oksygenbehov.

Tabell 4-9: 274 målinger på 5 ulike avstander fra merdkant, hver serie ble gjort på 5 dyp, 16 jan 09:35 til 17 jan 08:20. IQR = avstanden mellom 25 og 75 persentilene og er et robust anslag for normal topp/bunn-variasjon, øvrig variasjon er litt mer ekstreme topp og bunn-noteringer. Variasjonsbredden i Avløp ligger på bare 1,1 %, i merd på 2-3 %, dette er svært lave variasjoner.

VERDI	AVLØP	4,5	6,5	9	12,5	14
MAKS	80,2	89,6	98,8	93,3	86,6	89,6
0,75	78,5	86,7	91,6	86,7	84,1	87,4
Median	78,1	85,4	90,3	84,7	83,1	86
0,25	77,4	84,2	88,9	83	82,2	84,4
MIN	74,8	77,2	82,4	77,4	76,8	81,5
IQR	1,1	2,5	2,7	3,7	1,9	3

Vi har nå identifisert det vi anser som det optimale stedet for plassering av oksygensensorene i en lukket merd med vårt konsept. Vi klarer å styre vannforbruk og oksygentilsetning slik at det blir stabile oksygenverdier gjennom hele døgnet og i hele posevolumet. Samtidig har vi et lavt oksygenforbruk pr kg fôr. Denne kunnskapen er viktig for regulering av oksygentilførselen - både i forhold til fiskevelferd (rett metning og stabilt nivå) og økonomi (virkningsgrad/nivå).

4.3.6 H2 GJENVINNING AV FÔRBASERTE UTSLIPP

Oppsamlingsystem og transport av slam til bearbeiding og tørking av slam

Det er testet ut flere filtersystemer for oppsamling av slam fra uttaksvannet fra de lukkede merdene. Ut fra dette er det konkludert med at det er en god løsning med et felles filter (og slave-filter om nødvendig) for hver 4. lukkede merd i vårt konsept. Et slikt filter kan plasseres mellom to merder på selve konstruksjonen. Det er laget egne hus (filterhus) og vi har utviklet nye integrerte slam- og dødfiskopsamlings-system. Det kommer noe slam når det kjøres dødfisk, slik at alt slam samles og videreføres fra hver merd/dødfisk-oppsamling til dette filteret i filterhuset. Det er videre testet ut ulike pumper og skruer for å kunne transportere det filtrerte slammet videre fra filter til anlegg for bearbeiding og tørking av slam. Etter filtrering øker naturligvis tørrstoffinnholdet betydelig.

I Norge føres det ut ca. 1 630 000 tonn fiskefôr (med 94 % tørrstoff) med utslipp av slam et sted mellom 300 000 og 900 000 tonn tørrstoff i året. Anslagene for slam varierer stort fordi ingen er helst sikre på hva som egentlig skjer med fôr og avføring i de store sjøanleggene (Aas et al., 2019; Schumann og Brinker, 2020). Akvafuture samler opp og leverer tørket slam fra Hamnsundet og Andalsvågen, vått slam fra Sæterosen. På Hamnsundet i 2019 brukte vi 3 530,8 tonn fôr og samlet opp 75 tonn tørrstoff. Slammet fra Hamnsundet (målt på tørrstoff) inneholdt 44,5 % karbon, 14,5 % aske (gløderest) og 1,4 % natrium. Vi fant 0,34 mg/kg TS kadmium og 20,7 mg/kg TS kobber. Øvrige verdier er vist i tabell 4-10, sammen med tall fra NIBIO (Brod et. al., 2020). Kartlegging av mengde slam og kjemisk sammensetning er en viktig del av internkontrollen i anlegget fordi små endringer i andel fôrspill vil gi mer slam og et slam med økt tørrstoffprosent, endret balanse mellom organisk og ikke-organisk innhold og endret innhold av næringsstoffer.

Tabell 4-10: Sammenligning av ulike gjødseltyper, tørrstoff, nitrogen, fosfor, kalium, kadmium og sink. TS (%), N, P og K er angitt i % av tørrstoff, Cd og Zn som mg/kg av tørrstoff. Akvafuture sine tall fra tørket slam er øverst, øvrige tall fra NIBIO.

GJØDSEL	TS	N	P	K	CD	ZN
HS TØRT	94,0	7,3	2,4	-	0,3	346
Fisk, vått	1,4	12,6	2,1	0,5	0,7	515
Fisk, tørket	91	5	2,8	0,2	0,6	446
STORFE	6	5,2	0,8	5,7	0,1	184
GRIS	3	11,3	2,2	6,3	0,3	637

Innenfor Kompakt har vi også publisert :

- En pilotstudie av mengde og kvalitet av slam samlet opp fra et lukket merdanlegg (Bergheim og Nilsen, 2017)
- En masterstudie av hvordan sukkertare og blåskjell kan brukes til å rense avløpsvann fra lukkede merder, og hvordan økt næringsinnhold i sjøvann tilsatt avløp fra lukket med førte til 75 % raskere vekst av sukkertare og 72 % høyere nitrogeninnhold i tarebladene (Stedt, 2018). Arbeidet med å utforske multitrofisk havbruk for en integrert og miljømessig bærekraftig bioproduksjon er også videreført i samarbeid med Gøteborg Universitet (finansiert av det svenske jordbruksverket, <https://www.gu.se/forskning/cirkular-imta>)

4.3.7 H3 STABILT MIKROBIOLOGISK MILJØ I LUKKET MERD

Sår og finneråte er multifaktorielle lidelser med stor utbredelse og som har en alvorlig innvirkning på fiskevelferd og fiskehelse i mange anlegg langs kysten (Takle et al., 2015; Colquhoun og Olsen, 2020). Innenfor det oppsatte måleprogrammet skulle vi kartlegge smittestoff i og rundt anlegget og vi skulle samle inn bakterieisolater, først og fremst knyttet til sår og finneråte. Dette er gjennomført og blir kort omtalt i denne rapporten, men vi jobber også med publisering av disse dataene sammen med Veterinærinstituttets forskningsavdeling og NMBU, Institutt for mattrygghet og infeksjonsmedisin.

Det som raskt viste seg som et nødvendig tillegg til disse prosjektene var en bredere kartlegging av biosikkerhet, i form av screening av fisk før utsett i sjø og screening for et større antall agens i løpet av produksjonsperiodene. Vi har i samarbeid med Patogen analyse AS også gjort noen flere pilot-tester med bruk av PCR til smittesporing på lokaliteten og vi har testet hvor nært isolater av PRV-1 virus (HSMB) som vi har påvist på Hamnsundet er i slekt med isolater fra de andre lokalitetene med lukkede merder som også drives av Akvafuture i samme region.

BIDRAG MIKROBIOLOGI

Gjennom utviklingsprosjektet har vi vist at det mikrobielle miljøet på og i umiddelbar nærhet av lokaliteten påvirkes av driften i anlegget. Dette medfører at fisken kan bli eksponert for smittestoffer fra miljøet med inntak av urensset vann fra 20 m dyp, for eksempel fra agens som følger med fisken til lokaliteten ved utsett. Over tid vil det kunne skje en akkumulering av disse smittestoffene gjennom produksjonsperioden, tilsvarende det vi har påvist i nærliggende miljø, på lokaliteten og i inntaksvann. Dette er en begrensende faktor som må håndteres med andre naturlige biosikkerhetstiltak som (1) god lokalisering av anlegg og dimensjonering av produksjon ut fra lokale havstrømsmodeller, (2) god kontroll med smittestatus for alle grupper av fisk som skal inn i anlegget og (3) regelmessig tømning og brakklegging av anlegget.

SMITTEKARTLEGGING VED TESTING AV FISK

Vi har i prosjektperioden gjennomført en regelmessig kontroll av smittestoff for alvorlige smittsomme sykdommer, med omfattende kartlegging av flere smittsomme virus og av gjellepatogener. Vi har ikke påvist ILAV (infeksiøs lakseanemi), SAV (PD, PMCV (kardiomyopatisyndrom, CMS), eller IPNV (Infeksiøs pankreas nekrose). PRV-1, som forårsaker hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) har vært vanlig forekommende gjennom store deler av produksjonsperioden (tabell 4-11), og vi har hatt fire episoder der vi har identifisert klinisk sykdom forårsaket av HSMB.

Tabell 4-11: Antall fisk der det er tatt PCR-prøver (n) av hjerte- eller nyrevev for påvisning av infeksiøs lakseanemi virus (ILAV), Pankreas disease virus (SAV), Piscint myocarditt virus (PMCV), Piscine orthoreovirus 1 (PRV-1) og Infeksiøs pancreas nekrose virus (IPNV) over årene 2018 – 2020 (n angir antall fisk det er tatt prøver av for hvert påfølgende virus; tall under gitt virus angir prevalens (%); mens – angir ingen påvisninger).

ÅR	n	ILAV	n	SAV	n	PMCV	N	PRV-1	N	IPNV
2018	100	-	100	-	20	-	20	100		
2019	318	-	323	-	127	-	132	97	32	-
2020	146	-	146	-	20	-	50	96	10	

Vi har diagnostisert kompleks gjellebetennelse (Taylor et al., 2009; Gjessing et al., 2019) og påvist en rekke gjellepatogene agens. Noen agens, som Paramoeba perurans (AGD) ser ut til å være konstant tilstede i lav dose i miljøet, også før fisken ble satt ut. Andre agens som Branchiomonas cysticola og Salmonid Pox-virus ser ut til å være nært knyttet til innsett av fisk, på samme måte som for PRV-1. For disse smittestoffene fant vi også akkumulering av høye smittedoser på lokaliteten (tabell 4-12).

Tabell 4-12: Antall fisk PCR-prøver (n) av gjellevev fra frisk fisk, eller fra fisk karakterisert som svimere, for påvisning av arvestoff fra Branchiomonas cyticola (Bc), Ichthyobodo salmonis (Is), Paramoeba peruans (AGD, Amøbegjellesykdom), Paranucleospora theridion (Pt), Parvicapsula pseudobranchicola (Pp) og Salmonid Pox-virus (SPV) over årene 2019 – 2020 (N angir antall fisk det er tatt prøver av for hvert påfølgende virus; tall under gitt virus angir prevalens (%); mens – angir ingen påvisninger).

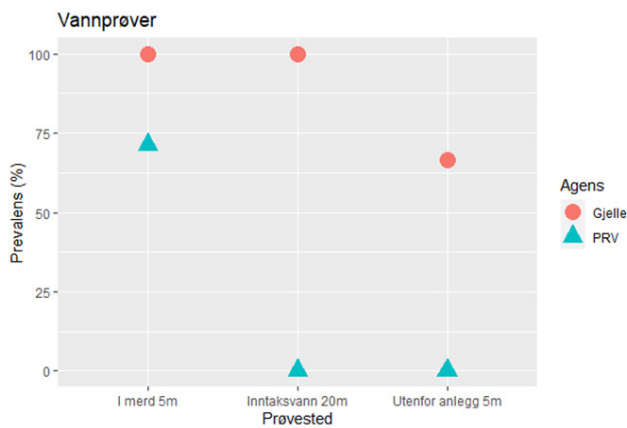
ÅR	n	Bc	n	Is	n	AGD	n	Pt	n	Pp	N	SPV
2019	100	100	30	33	100	80	30	-	45	27	100	74
2020	64	100	-	-	64	58	3	-	-	-	64	62

SMITTESPORING VED UNDESØKELSE AV VANNPRØVER

Vi har også gjennomført analyser av vannprøver tatt i merdene, ved vanninntak på 20m eller 5m i merdene og på 5m dyp 200m eller 500m fra anlegget. Filtrerte vannprøver ble her analysert for *Branchiomonas cysticola* (Bc), *Paramoeba peruans* (AGD, Amøbegjellesykdom), Salmonid Poxvirus (PoxV) og Piscine orthoreovirus 1 (PRV-1). Salmonid poxvirus ble ikke påvist i noen av vannprøvene. *Branchiomonas cysticola* og *Paramoeba peruans* ble påvist i alle vannprøver tatt rundt anlegget og i miljøprøver tatt 200m fra anlegget, men ikke i prøver tatt 50m fra anlegget. PRV-1 ble påvist i 2 av 5 vannprøver tatt inne i merdene, men ikke i prøver tatt utenfor merdene (tabell 4-13, figur 4-8).

Tabell 4-13: PCR-prøver av avskrap av filter etter filtrering av vannprøver tatt utenfor merdene i Hamnsundet i oktober og november 2019, for påvisning av arvestoff fra Dato, Lok = sted, der 1 = miljø utenfor anlegget, 2 = på lokalitet, utenfor merd (5 m dyp), 3 = inntaksvann på lokalitet (20 m dyp) og 4 = inne i merd (5 m dyp), avstand = avstand fra lokalitetsområdet, Bc = *Branchiomonas cysticola* (Bc), AGD = *Paramoeba peruans* (AGD, Amøbegjellesykdom), SPV = Salmonid Poxvirus og PRV-1 = Piscine orthoreovirus 1. Tallene angir Ct-verdier for positive prøver mens – angir ingen påvisning.

DATO	Lok	Merd	Avstand (m)	Dyp	Bc	AGD	SPV	PRV-1
23.10.2019	4	1	0	5	20,4	19,6	-	34,2
23.10.2019	3	1	0	20	36,4	31,9	-	-
23.10.2019	4	4	0	5	25,4	29,8	-	-
23.10.2019	4	5	0	5	29,3	19,1	-	36,8
23.10.2019	1	0	200	5	29,7	30,8	-	-
23.10.2019	3	5	0	20	27,3	29,4	-	-
07.11.2019	1	0	500	5	-	-	-	-
07.11.2019	1	0	200	5	-	-	-	-
07.11.2019	2	5	0	5	35,3	25,2	-	-
07.11.2019	4	5	0	5	30	23,7	-	-
07.11.2019	4	4	0	5	28,4	27,8	-	36,3
07.11.2019	4	2	0	5	27,8	31,3	-	35,5
07.11.2019	3	1	0	20	35,1	31,1	-	-
07.11.2019	4	1	0	5	26,3	26,3	-	36,4



Figur 4-8: Resultat fra vannprøvene: Prevalens (%) av gjellepatogenene *Branchiomonas cysticola* og *Paramoeba peruans* (sirkler) og *Piscine orthoreovirus 1* (trekanter). Salmonid Poxvirus ble ikke påvist i vannprøvene.

SMITTESPORING VED FYLOGENETISK KARTLEGGING AV PRV-1

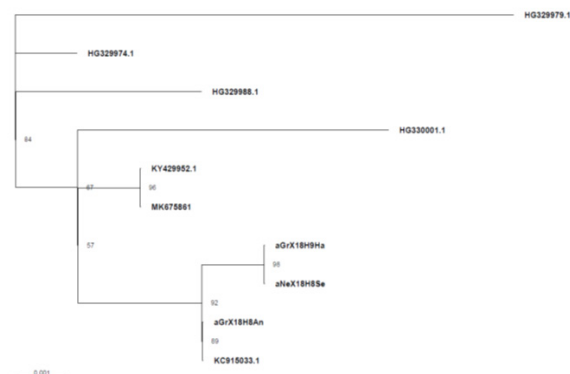
De eneste virusjukdommene som ble påvist hos fisk på Hamnsundet i prosjektperioden var HSMB (PRV-1) og gjellesykdommen Salmonid Pox-virus (SPV). PRV-1 ble påvist med høy prevalens og var i flere tilfeller også knyttet til klinisk sykdom. HSMB ble første gang påvist allerede i juli 2018, en måned etter første innsett, og har trolig fulgt med fisken som ble flyttet fra nabolokalitet Andalsvågen.

HSMB var som sykdom et problem i bare få merder og med en lav dødelighet. Neste påvisning kom i mars og april 2019, i flere merder men også da med lav til moderat dødelighet. Tredje påvisning kom på nyutsatt smolt høsten 2019, det var en kort periode med moderat dødelighet i to merder, dette ble så avløst av en periode med større problemer med gjelleinfeksjon og kompleks gjelleskade. Vi så også en svak økning i antall fisk med HSMB i merd 2 våren 2020.

Prøver fra filtrert sjøvann i merd, innløp og miljø ved to uttak i oktober og november 2019 viste at PRV-1 kunne påvises i vann inne i merd, men i lave doser, men vi påviste ikke PRV-1 i sjøvannet utenfor merdene, innløpsvann eller i miljøprøver (5 m dyp) 200-500 sør for anlegget.

Kartlegging av slektskap mellom PRV-1 isolater fra Hamnsundet og de to andre lokalitetene til Akvafuture, Andalsvågen og Sæterosen, viste at Hamnsundet og Sæterosen hadde identiske isolater, mens Andalsvågen også var nært beslektet (figur 4-9).

Andalsvågen-isolatet var også identisk med isolater tidligere beskrevet fra utbrudd på andre kommersielle sjølokaliteter (Markussen et al., 2013).



Figur 4-9: Fylogenetisk tre for tre isolater av PRV fra Akvafuture AS, alle isolert fra førstegangspåvisning av PRV på hver av lokalitetene. Isolat KC915033.1 er ikke fra Akvafuture AS, men beskrevet tidligere av Markussen et al., 2013.

INNSAMLING AV BAKTERIEISOLATER OG KARTLEGGING AV MIKROBIELL DIVERSITET VED BRUK AV MILJØ-DNA (H3)

I NFR-prosjektet KOMPAKT (2017-2020) har vi målt mikrobiell diversitet i og utenfor lukkede merder (Akvafuture) samtidig som vi har kartlagt fiskehelse og isolert og karakterisert bakterielle agens fra syk og frisk fisk. Dette er gjennomført i samarbeid med Veterinærinstituttets forskningsavdeling i Oslo og NMBU, Institutt for mattrygghet og infeksjonsmedisin. Vi har kombinert dyrking av bakterier fra fisk og vann (mai 2017 – august 2019) med miljø-DNA overvåkning for analyse mikrobiell av diversitet og deteksjon av spesifikke patogener (desember 2017 – desember 2018).

Prøvetaking er gjennomført på to ulike forsøks-lokaliteter med lukkede merder i sjø, Hamnsundet og Andalsvågen. Ved kartlegging av den mikrobielle diversiteten på lokaliteten ved bruk av miljø-DNA fant vi at det mikrobielle samfunnet både på lokaliteten og i nærmiljøet (200 – 1000 m radius) endret seg markert etter utsett av fisk, og at det etablerte seg en ny likevekt som også var nært beslektet med den mikrobielle situasjonen på lokaliteter der det allerede var etablert drift. Dette er vist i detalj som vedlegg til halvårsrapporten for første del av 2020 ([Vedlegg 12](#)). Vi har til nå valgt ut til sammen 4-500 bakterieisolater, 16S rDNA-analyse er gjennomført på 104 bakterier fra fisk og 46 bakterier fra vannprøver.

Vi har karakterisert en rekke isolater fra flere kjente eller mulig fiskepatogene bakteriearter som kan knyttes til sår eller finneråte; *Moritella viscosa*, *Aliivibrio wodanis*, *Aliivibrio* sp. og *Vibrio* sp. Isolater fryses ned for lagring, senere analyse og eventuelt vaksineutvikling. Resultatene viser at det mikrobielle miljøet endres og det kan skje en oppkonsentrering av visse smittestoffer. Det er naturlig å se dette i sammenheng med de hydrologiske forholdene på lokaliteten og hvordan de blir påvirket av anleggets plassering og drift, slik SINTEF Ocean også nylig har vist at åpne merdanlegg kan ha en stor innflytelse på sitt nærmiljø (Broch et al., 2020; Klebert og Su, 2020). Modellering av vannstrøm på og rundt lokaliteten, inkludert vertikaltransport av vann og hvordan anlegget påvirker strømsetningen er en forskningsoppgave som vil bli prioritert i det videre arbeidet.

Utvikling av sår og gjelleinfeksjoner har vist seg å være viktige helseutfordringer ved drift av lukkede merder. Begge lidelsene har komplekse årsaksforhold, er av kronisk karakter og assosiert med påvisning av en rekke patogener eller mulig patogener agens. Vi har gjennomført en omfattende kartlegging av mikrobielt miljø og fiskehelse i denne typen lukkede merdanlegg, med resultater som har stor betydning for å forstå sammenhengene mellom teknologi, mikrobielt miljø i vannet, isolering av agens fra fisken og helsestatus i anleggene (figur 4-10).



Figur 4-10: Siste prøveuttak for kartlegging av mikrobiell diversitet, Hamnsundet desember 2018. Foto: Veterinærinstituttet.

4.3.8 H4 GOD FISKEVELFERD I LUKKET MERD

Dette arbeidsområdet omfattet (1) analyse av produksjonsdata, (2) kartlegging av dødelighet, (3) utvikling av operasjonelle velferdsindikatorer for lukkede merdanlegg, (4) beskrivelse av variasjoner av vannkvalitet og merdmiljø gjennom døgnet og (5) en evaluering av teknologiens reelle produksjonskapasitet med hensyn til helse og velferdsdata. Leveranse 3 inngår som del av den samlede Kompakt-rapporten, men et utkast til velferdsindikatorer for lukkede merdanlegg er også levert som vedlegg til denne rapporten ([Vedlegg 14](#)). Beskrivelse av døgnvariasjoner (leveranse 4) er gjort i samarbeid med IRIS/NORCE og Høgskolen på Vestlandet (HVL) i en serie forsøk i perioden 2017-2019 på lokaliteten Sæterosen.

Dette er data som også er brukt til en vurdering av drift og produksjonskapasitet på Hamnsundet. Det som beskrives i denne sluttrapporten er derfor de delene av H4 som har vært relevante for prosjektet på Hamnsundet. Der det er relevant overlapping av kunnskapsgrunnlag med den øvrige forskningsaktiviteten knyttet til Akvafuture sine tre FoU-tillatelser blir det kommentert i teksten.

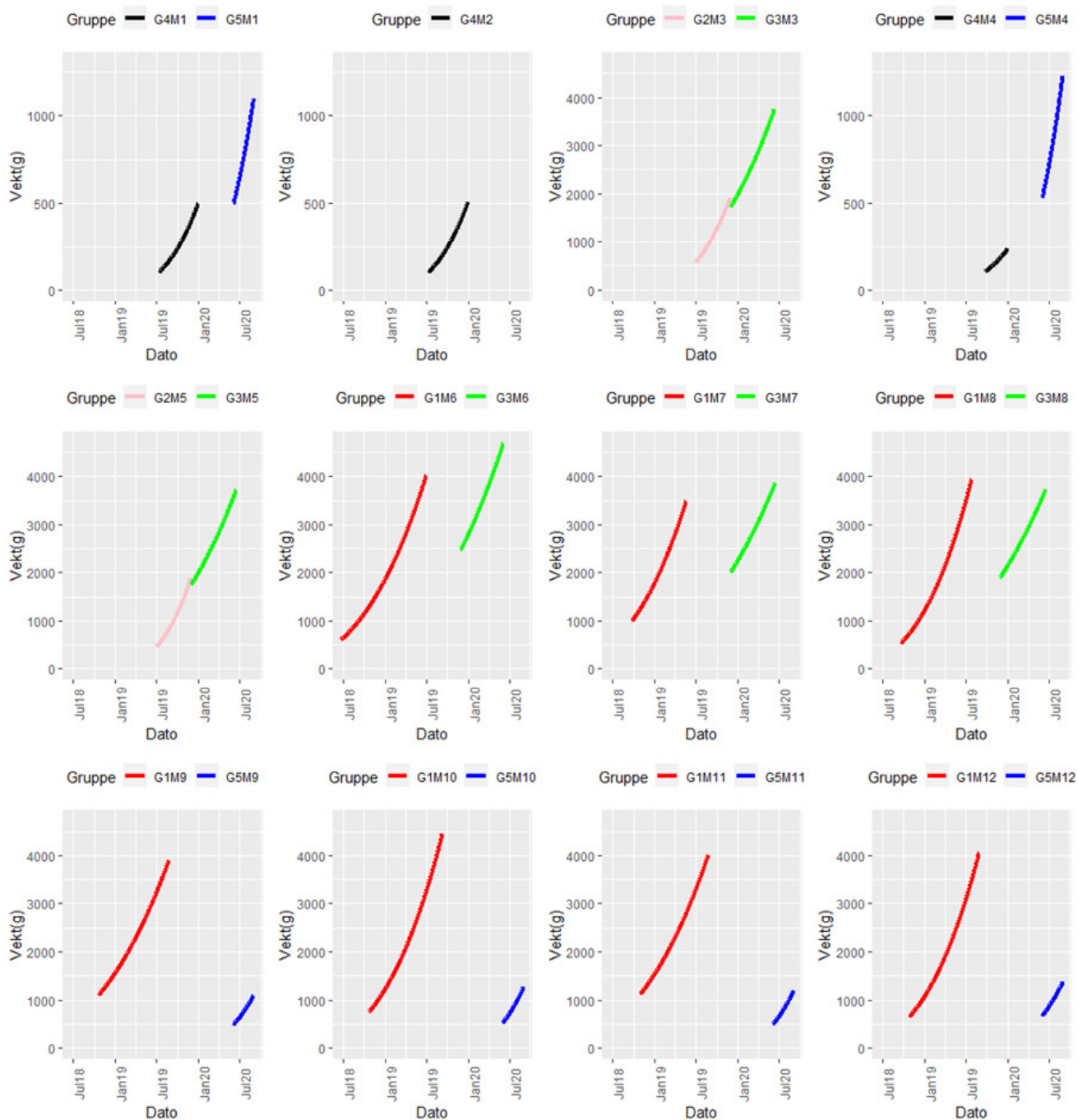
ANALYSE AV PRODUKSJONSDATA (LEVERANSE 1)

Her beskrives litt mer i detalj de biologiske resultatene fra produksjonen av de fem gruppene som ble definert i 4.3.4 (side 22-24). Der fisk ble flyttet eller splittet mellom merder under produksjonen er det beregnet resultater for hver av underperiodene, for slaktefisk hadde vi til sammen 23 slike merdperioder. Disse dataene er vist i detalj i [vedlegg 14](#) og oppsummert i tabell 4-14. En oversikt over vektutvikling for alle produksjonsgrupper er gitt i figur 4-11.

En kort evaluering av de enkelte produksjonsgruppene er også gitt i teksten nedenfor, mens tallene for dødelighet er nærmere kommentert under leveranse 2. Det har vært et sentralt arbeidsområde å optimalisere fôring og fôrutnyttelse. Vi har i 2020 iverksatt de tiltakene vi mener er nødvendige for å holde god styring med fôrtildeling og sikre en lav fôrfaktor samtidig som vi har en god vekstrate (tabell 4-14). Slakteresultatene har vært gode, til sammen 773 253 fisk med en snittvekt på 3 937 g ble slaktet i perioden mai 2019 til juni 2020, med 89,4 % superior kvalitet (tabell 4-15).

Tabell 4-14: Oppsummerte produksjonsdata fra merder med slaktefisk, juni 2018 til juni 2020, Hamnsundet. Resultatene presenteres for hver fiskegruppe og samlet. Antall merdperioder, gjennomsnitt antall dager, temperatur, spesifikk vekstrate (SGR), vekstfaktor 3 (VF3) og biologisk fôrfaktor (BFF). Dødelighet i % er rapportert som median verdi i de 23 merdperiodene.

GRUPPE	n	Dager	t	Døde %	SGR	VF3	BFF
1	8	269	7,7	8,1	0,50	2,70	1,42
3	9	108	5,7	1,0	0,36	3,03	1,40
5	6	90	9,7	0,8	0,91	2,90	1,07
SAMLET	23	159	7,4	1,0	0,55	2,88	1,32



Figur 4-11: Her vises vektutviklingen for alle gruppene i forsøksperioden fordelt på 12 merder, merd 1 øverst til venstre, merd 12 nederst til høyre. Gruppe 1 = røde linjer, gruppe 2 = rosa linjer, gruppe 3 = grønne linjer, gruppe 4 = svarte linjer og gruppe 5 = blå linjer. For merd 1, 2 og 4 er y-aksen endret fordi fisken hadde lavere sluttvekt. For hver gruppe er vekst beregnet ut fra differansen mellom sluttvekt og startvekt.

Tabell 4-15: Slakteresultat for Hamnsundet, mai 2019 til juni 2020. Slaktedato, merdnummer, antall, rund vekt (g) og biomasse (kg), fordeling i kvalitetsklasse (fordelt etter volum), samlet resultat for hele produksjonen er summert nederst.

Dato	Merd	Antall	Rund vekt (g)	Biomasse (kg)	Sortering (%)			
					Superior	Ordinær	Prod	UTKAST
19.05.2019	7	71 829	3 500	251 419	85,0	15,0	0,0	0,0
28.07.2019	8	71 312	3 948	281 529	95,0	1,5	3,5	0,0
30.07.2019	6	48 428	4 021	194 749	94,9	5,0	0,1	0,0
23.08.2019	11	74 760	3 999	298 989	86,2	6,5	7,2	0,1
24.08.2019	9	75 818	3 900	295 689	85,7	7,2	4,9	2,2
29.08.2019	12	63 496	4 443	257 081	89,1	4,3	6,6	0,1
10.09.2019	10	62 899	4 443	279 464	89,6	10,4	0,0	0,0
03.06.2020	6	40 149	4 695	188 509	94,9	5,1	0,0	0,0
12.06.2020	7	68 034	3 862	262 738	89,4	9,1	0,5	1,0
15.06.2020	3	59 036	3 754	221 631	88,1	11,4	0,2	0,3
15.06.2020	5	74 232	3 730	276 883	89,2	10,8	0,0	0,0
15.06.2020	8	63 260	3 730	235 957	89,2	10,8	0,0	0,0
TOTAL	SUM	773 253	3 937	3 044 639	89,4	8,1	2,1	0,3

KARTLEGGING AV DØDELIGHETSÅRSAKER (LEVERANSE 2)

I prosjektet har vi brukt samme mal for kartlegging av dødelighetsårsaker som vi har gjort i de andre anleggene som har deltatt i prosjektet Kompakt (jfr. Nilsen et al., 2020, in press). Driftspersonell har fått opplæring i klassifisering og så har helsetjenestene gjort egne undersøkelser og vurderinger av anleggenes tall ved de månedlige rutinebesøkene. Vi har satt opp en oppsummering av dødelighets kategorier for de fem produksjonsgruppene i tabell 4-16. Vi har registrert høy dødelighet på nyutsatt smolt på grunn av kompleks gjellebetennelse og forhøyet dødelighet på post-smolt etter innsett av fisk som hadde hatt sårproblemer den første tida etter sjøsetting. For den store fisken fram til slakt har dødeligheten vært generelt svært lav. Vi har påvist høy prevalens av PRV-1, men svært lite klinikk og dødelighet.

Det er en utfordring for velferd og helse når fisk skal flyttes mellom merder eller lokaliteter fordi trenging, pumping og transport gir økt risiko for stress og mekaniske skader. Det har vi sett ved flere anledninger, men tiltaket med sedering ved håndtering ser ut til å ha redusert belastningen på fisken ved slike operasjoner.

Samlet dødelighet (alle fisk, alle merder) var for gruppe 1: 10,6 %, gruppe 2: 0,3 %, gruppe 3: 1,3 %, gruppe 4: 67,2 % og gruppe 5: 0,8 %. For gruppe 1 var sår og finneråte viktigste dødsårsak (44,1 %). Dette skyldtes sårproblemer fisken hadde med seg fra perioden fra utsett til storsmolt på lokalitet Andalsvågen. Det ble også registrert dødelighet knyttet til selve inntransporten («Drift»).

Problematikken rundt sårutvikling i tida både på Andalsvågen og på Hamnsundet er belyst gjennom arbeidet som er gjort med kartlegging av mikrobiologisk balanse og isolering av bakterier (H3). Fisken i gruppe 1 viste likevel en god rekonvalesens utover i produksjonsperioden og ble slaktet ut med et relativt godt resultat. For de andre gruppene, med unntak av gruppe 4, har dødeligheten vært lav. Her har dødelighet først og fremst vært knyttet til sår eller skader som har oppstått i forbindelse med flytting / sortering av fisken. Ved lav dødelighet blir også andel «Andre» høyere fordi det ikke er noen spesifikke sykdomsproblemer in merden. Størst problemer oppsto i gruppe 4 da det etter en kort periode med HSMB utviklet seg kompleks gjellebetennelse i alle tre merder. I første omgang ble klinikk og laboratoriefunn dominert av AGD (Paramoeba perurans), men vi påvist også en rekke andre agens.

Etter noen uker sank vanntemperaturen, AGD forsvant gradvis og epiteliocystis (*Branchiomonas cysticola*) og lakse-pox (SPV) ble de dominerende funnene. Det ble vurdert å gjennomføre ferskvannsbehandling mot AGD, men de kliniske funnene endret seg såpass raskt at vi vurderte det som velferdsmessig ikke forsvarlig å utsette fisken for det behandlingsstresset. Lignende agens og histologiske funn er påvist også på andre grupper fisk i anlegget, men uten de alvorlige helsemessige konsekvensene som vi så i gruppe 4.

Tabell 4-16: Oppsummering av samlet dødelighet for hver av de 5 gruppene (alle fisk, alle merder i hver gruppe) og prosentvis fordeling av registrerte dødsårsaker, Hamnsundet, juni 2018 – juni 2020. Sår = sår og finneråte, gjeller = kompleks gjellebetennelse, drift = transport og håndtering, HSMB = hjerte og skjelettmuskelbetennelse, pinner = avmagrete taperfisk, k.moden = kjønnsmodning, andre = ukjent diagnose eller andre, lite brukte diagnoser og råtten = fisk som var så oppløst ved dødfiskopptak at en nærmere undersøkelse var umulig.

Gruppe	Døde %	Sår	Gjeller	Drift	HSMB	PINNER	K.MODEN	ANDRE	RÅTTEN
1	10,6	44,1	0,0	19,3	0,0	5,2	1,7	12,2	17,5
2	0,3	17,3	0,0	2,7	0,0	10,0	2,1	52,8	15,1
3	1,3	39,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,7	14,1
4	67,2	13,9	85,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,6
5	0,8	55,7	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	26,5	17,4

PRODUKSJON MATFISK

Vi har dokumentert at det er mulig med produksjon av slaktefisk i lukket merd med lav dødelighet, god tilvekst og god sluttkvalitet med høy andel av superior klassifisering av slaktefisk. Gjennom forsøksperioden har vi identifisert førtildeling som en viktig utfordring, ved å endre utføringsteknologien og ta i bruk ny og bedre kamerateknologi har vi nå oppnådd en lav førfaktor samtidig som vi har opprettholdt god vekst og fiskevelferd.

UTVIKLING AV OPERASJONELLE VELFERDSINDIKATORER FOR LUKKEDE MERDANLEGG (LEVERANSE 3)

Veterinærinstituttet deltok i 2018 i utforming av håndboka: «Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd (FISHWELL)» (Noble et al., 2018). I boka gis en oversikt over det teoretiske grunnlaget for aktuelle velferdsindikatorer for laks, og det gis en konkret anbefaling til operasjonelle velferdsindikatorer (OVI) for ulike teknologier og laboratoriebaserte velferdsindikatorer (LABVI), inkludert semi-lukkede anlegg (SLA). Resultater fra våre forskningsprosjekter inngikk som en viktig del av kunnskapsgrunnlaget i kapittelet om lukket merdteknologi.

Akvafuture AS har drevet forsøk med produksjon av postsmolt inntil 1 kg siden 2012, men utviklingsprosjektet var først og fremst rettet mot forsøk med produksjon av slaktefisk. I FISHWELL-håndboka blir det slått fast at det er lite offentlig tilgjengelig informasjon om ytelse og velferd for atlantisk laks under kommersielle produksjonsforhold i denne typen lukkede merder. Fra KOMPAKT-prosjektet er en del data for produksjon av post-smolt sendt inn til publisering (Nilsen et al. 2020, in press), men for slaktefisk er det et enda større kunnskapshull.

En konkret utfordring er å vurdere adferd på både individ- og gruppenivå. Individbaserte indikatorer kan si noe om velferd både for individ og gruppe, mens miljøbaserte og gruppebaserte indikatorer gir informasjon kun på gruppenivå. Å overføre individvurderinger til gruppen er vanskelig og krever både faglig skjønn og gode kvantitative data. I forslaget vårt har vi brukt inndelingen fra FISHWELL, de konkrete forslagene og merknadene er gjort med bakgrunn i de samlede erfaringene vi har gjort gjennom KOMPAKT, mye av annen bakgrunns litteratur er også nærmere diskutert i doktorgradsavhandlingen Nilsen, 2019: «Production of Atlantic salmon in closed containment systems». Forslaget til konkrete velferdsindikatorer, både OVI og LABVI er vist i [vedlegg 13](#).



VURDERING AV TEKNOLOGIENS REELLE PRODUKSJONSKAPASITET SETT I LYS AV HELSE OG VELFERDSDATA (LEVERANSE 5)

Oppsummering

Akvafuture AS har nå produsert matfisk, storsmolt og smålaks i anlegget på Hamnsundet i overkant av to år. I denne perioden har vi driftet med biomassetettheter i merdene fra 4 – 53 kg/m³ vannvolum, spesifikt vannforbruk på 0.11 – 2 L/kg/min og fôrstyrke på 2 – 46 g/m³ vann/døgn. Under driften har vi opprettholdt en fysisk vannkvalitet som er nødvendig for at laksen kan ha god velferd og helse. Ved produksjon med de høyeste biomassetetthetene i merdene, som også gir lavt vannforbruk og høy fôrstyrke, ser vi allikevel tegn til at vi nærmer oss en øvre grense for produksjonsintensitet. Det har først og fremst vist seg ved at spesifikt vannforbruk har nærmet seg den kritiske nedre grenseverdien og ved en økende partikkelbelastning i merdene. Høyere produksjonsintensitet vil kreve en annen dimensjonering av vannutskiftingen. Vi har også erfart at føring av fisk blir mer krevende ved tetthet over 40 kg/m³, og en effektiv og velferdsmessig sikker produksjon av fisk ved vesentlig høyere tettheter i så store volum vil kreve andre løsninger for overvåking av førtildelingen.

Slamuttak fra Hamnsund-anlegget bidrar til å redusere det organiske utslippet fra produksjonen ved anlegget. Vi har offentliggjort våre data for opptak av slam og at det har vært et begrenset miljøavtrykk fra anlegget er dokumentert gjennom en serie av lokalitetsundersøkelser gjennomført ved anlegget (tabell 4-17). Produksjonen ved slike anlegg vil uansett medføre organiske utslipp, og slik teknologien er utformet kan det gi risiko for punktutslipp av organisk materiale. Vi har også vist hvordan det skjer en endring i den mikrobielle diversiteten og i forekomst av smittsomme agens i miljøet gjennom produksjonen. Dette er begrensende faktorer, og detaljerte undersøkelser av lokaliteter er fortsatt viktig. Vi vil spesielt peke på (1) langtidsserier med kartlegging av havstrøm og miljøforhold, (2) behov for modellering av strømbildet på lokaliteten etter at anlegget er utplassert, (3) grundig overvåking av det bentiske miljøet i og rundt anleggssonen og (4) beregning av netto belastning på lokaliteten, med fratrukk for den andelen av det sedimenterbare utslippet som samles opp til gjenbruk. Selv om det er en begrenset akkumulering av organisk materiale under anlegget vil gode brakkleggingsrutiner være viktig for å rense hele lokaliteten for smitte som har sitt opphav i fisken og drifta på anlegget. For agens som er mer naturlig tilstede i miljøet vil ikke brakklegging ha samme effekt.

I forhold til lakselus og utslipp av lusesmitte har vi dokumentert at lokalisering av anlegg med lukket merdteknologi i nært naboskap med andre slike anlegg, eller i naboskap med tradisjonelle åpne merdanlegg, ikke virker produksjonsbegrensende, se også Barret et al., 2020 og Huserbråten et al., 2020.

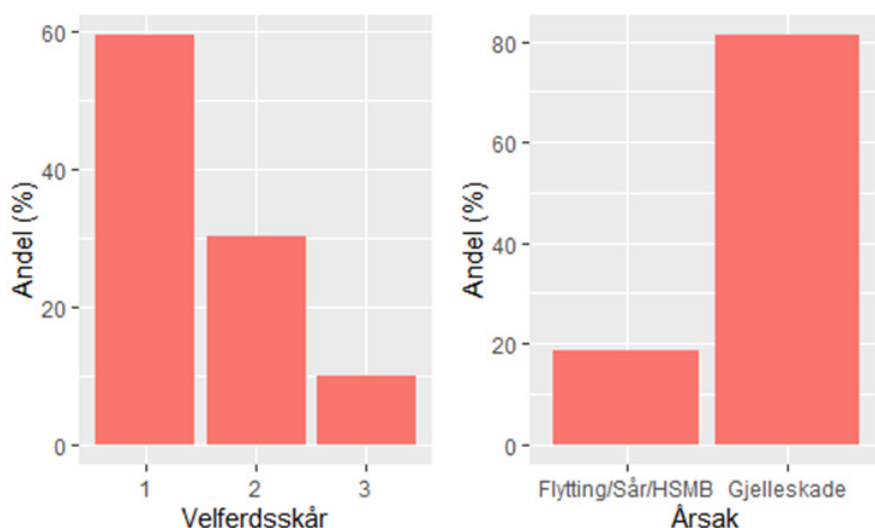
Dokumentasjonen av driftssikkerhet av anlegg og den fysiske vannkvaliteten ved drift, prestasjon og velferd hos fisk i produksjonen og miljøundersøkelsene på lokaliteten tilsier at anlegget på Hamnsundet kan driftes fullt ut med den produksjonsintensiteten som anlegget er designet for. Anlegget vil da kunne håndtere en produksjon på i overkant av 1560 MTB, uavhengig av om man produserer matfisk eller mindre laks for videre utsett i åpne merdsystem.

Grunnlaget for vurderingene ovenfor er i hovedsak rapportert i tidligere halvårsrapporter. I denne sluttrapporten tar vi også med noen oppsummerende resultater og vurderinger knyttet til (1) helseovervåking og velferdsvurderinger utført av helsepersonell, (2) lakselus, (3) vannkvalitet og (4) prosedyrer for håndtering av fisk.

HELSEOVERVÅKING OG VELFERDSVURDERING

Veterinærinstituttet har hatt ansvar for den helsefaglige oppfølginga på Hamnsundet i 2018 til 2020, i samarbeid med to eksterne helsetjenester; Elisabeth Treines og Harriet Romstad, Aqua Kompetanse AS. Vi gjennomførte til sammen 37 tilsynsbesøk i perioden 23.11.2018 til 16.07.2020, i tillegg ble det gjennomført 5 tilsynsbesøk ved oppstart i perioden juli – oktober 2018. Ved rutinebesøk (n = 21) ble vannkvalitet og fiskevelferd vurdert i hele anlegget.

Veterinærinstituttet har samlet disse vurderingene i en felles scoringstabell, der vi har klassifisert velferden i hver merd. Av 228 merdvurderinger var 59,6 % «God», 26,3 % «Akseptabel» og 14,0 % «Dårlig». Viktigste årsak til dårlig velferd var gjelleskadene på fisk høsten 2019 (81,3 % av alle «Dårlig»), mens skader på fisk ved flytting, sår og HSMB også ble registrert som årsaker til dårlig velferd (figur 4-12). Der velferd ble scoret som «Akseptabel» var det de samme årsakene som ble identifisert, men i tillegg ble det registrert problemer med høyt partikkelinnhold i vann ved høy biologisk belastning og kortvarige episoder med uspesifikk reduksjon i matlyst eller endret adferd, gjerne i forbindelse med raske temperaturendringer.



Figur 4-12: Til venstre: fordeling av velferdsscore i enkeltmerder ved helsekontroller, juli 2018 til juni 2020. Til høyre: fordeling av årsaker til «Dårlig» velferdsscore.

LUS OG LUSETELLING

Lakselus ble registrert og rapportert rutinemessig av Akvafuture i henhold til luseforskriften. I tillegg har de eksterne helsetjenestene og Veterinærinstituttet deltatt på lusetellinger og kvalitetsvurderinger av fisk der lusetelling har inngått som del av protokollen. Fra Hamnsundet er det rapportert 0 lakselus i perioden 2018-2020, det samme gjelder nabolokalitetene Andalsvågen og Sæterosen, alle med lukkede merder fra Akvafuture AS. Det er ikke brukt rensefisk og ikke gjennomført noen form for medisinsk eller mekanisk fjerning av lus. Den smittebarrieren som er etablert ved å ha lukkede merder med inntak av urensset vann fra 20 - 25 meters dyp har også på Hamnsundet gitt fullgod beskyttelse mot smitte av lakselus gjennom hele forsøksperioden.

For første halvdel av 2020 har helsepersonell scoret gjellekvalitet og vurdert eksteriør på 440 fisk og gjort vanlig lusetelling på 120 fisk. I perioden har verken personalet på anlegget eller helsetjenestene registrert lakselus på merder i drift med unntak av 1 kjønnsmoden lakselus (merd 8, 19.februar 2020) og noen få voksne *Caligus elongatus* («skottelus»). Disse resultatene stemmer godt med de erfaringene som er publisert fra tidligere studier av lus i lukket merd (Nilsen et al., 2017; Barrett et al., 2020). Bruk av brønnbåt til flytting av stor fisk mellom merder eller mellom lokaliteter gir økt risiko for kontaminering med urensset overflatevann. I etterkant av slike hendelser hender det at vi finner et svært lavt antall bevegelige eller kjønnsmodne lus, men aldri fastsittende stadier. Lusa dør etter hvert ut, men kan leve lenge på laksen. For *Caligus elongatus* er det trolig en litt annen smittedynamikk, med voksne individer som kan haike inn på større dyp etter å ha «hoppet av» sine verter som kan være ulike arter marin fisk (Nilsen et al., 2017).

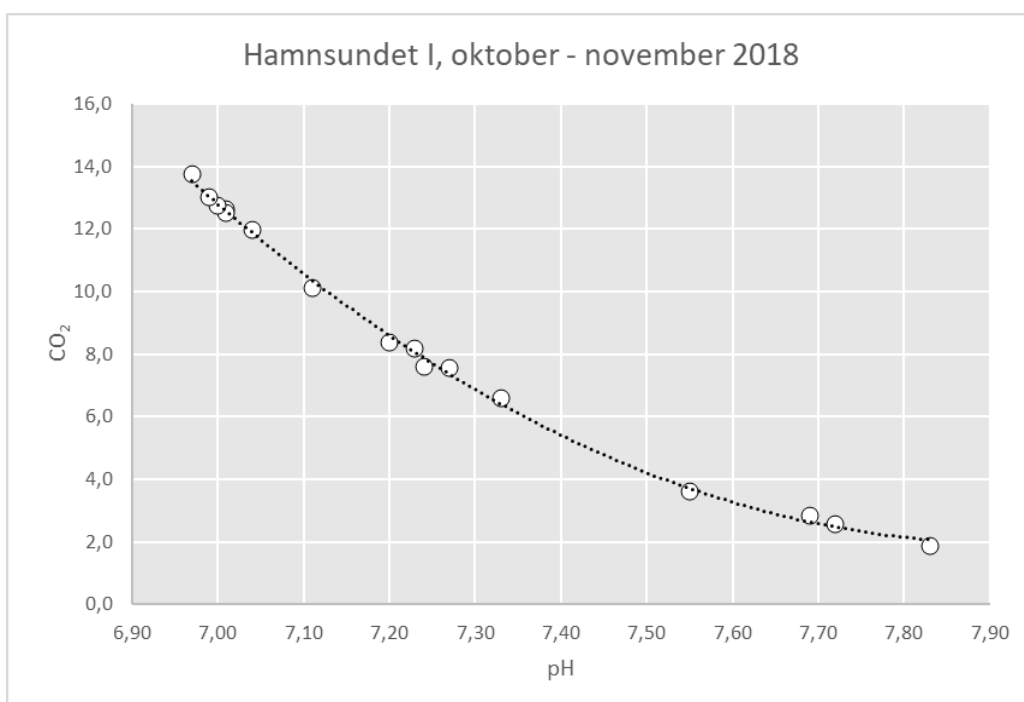
Produksjon av laks i lukkede merder med inntak av dypvann gir fullgod beskyttelse mot lus gjennom hele året, dette representerer en stor forbedring både for miljø og fiskevelferd.



VANNKVALITET

Kartlegging av vannkvalitet er utført av Veterinærinstituttet og Høgskulen på Vestlandet, ved Sveinung Fivelstad, som del av det NFR-finansierte forskningsprosjektet KOMPAKT (NFR nr. 269013, 2017-2020). Hovedmengden av prøvetaking og beregning av metabolisme og vannkvalitet ble utført på lokalitet Sæterosen. Men vi fulgte opp dette arbeidet også på Hamnsundet i 2018. Prøver fra flere merder ble analysert for temperatur, salinitet, oksygen, pH, alkalitet, totalt karbonat og CO₂. Målinger ble gjort både i felt og i vannprøver som ble tatt med tilbake på lab. I tillegg målte vi total ammonium nitrogen (TAN) og ammoniakk (NH₃-N). Profilmåling av temperatur, pH, salinitet og oksygen ble også gjort fra 1 til 30 meters dyp på lokaliteten og på 1 og 5 meters dyp i merdene. Slike profilmålinger ble også regelmessig gjennomført som del av H3, kartlegging av mikrobiell diversitet.

Dataene ble koblet sammen med vannflow, biomasse og fôringsdata og inngår i dermed som del av den prøveserien som har gått som del av Kompakt siden våren 2017. Dataene er under opparbeiding med formål om publisering i samarbeid med Høgskulen på vestlandet (HVL). Lokalitetsmålingene på Hamnsundet bekreftet de målingene AkvaKompetanse AS gjorde ved lokalitetsvurderinga i 2017; liten til ingen sjikting vertikalt av salinitet, oksygen og temperatur. Målingene i merd viste at produksjon innenfor de rammene som var lagt til grunn for prosjektet (tetthet inntil 50 kg/m³, spesifikt vannforbruk ≥ 0,2 L/kg/min) ga en akseptabel sikkerhet for å holde vannkvalitetsparametere som CO₂ og TAN / NH₃ innenfor trygge grenseverdier. Vi har også gjentatte observasjoner som viser at (1) temperatur inne i posene er stabil i hele posevolumet, (2) at nivået av CO₂ varierer med avstand fra posekant, men med små vertikale variasjoner, (3) at vannet i innløpsrørene i perioder er påvirket av avløp fra merdene (målbar reduksjon i pH) og (4) at det er en stabil sammenheng mellom pH, CO₂ og alkalitet som gjør det mulig å bruke pH som et presist mål på nivået av CO₂ (Figur 4-13).



Figur 4-13: Sammenheng mellom CO₂ og pH, målt i merd, Hamnsundet, 2018. Verdien av CO₂ (mg/L) er gitt som $y = 12,892 \cdot x^2 - 204,13 \cdot x + 809,98$, $R^2 = 0,9983$. En pH på 7,13 tilsvarte CO₂ på 10 mg/L og pH på 6,91 tilsvarte CO₂ på 15 mg/L. Median pH: 7,22, andre gjennomsnittsverdier var; CO₂: 8,3 mg/L, alkalitet: 2,32 mM/L, temperatur: 7,2 °C, tetthet 29,7 kg/m³, flow: 45,6 m³/min, spesifikt vannforbruk: 0,27 L/kg/min og fôrstyrke: 19,2 g/m³.

GOD FISKEVELFERD VED HÅNDTERING AV FISK I LUKKET MERD

Ved trenging og pumping av fisk ut fra lukket merd har vi erfart at det kan bli vanskeligheter med å få all fisken samlet i avkastnota, derfor har Akvafuture utviklet en spesialtilpasset snurpenot til bruk for uttak av fisk. Det har likevel vært flere episoder der vi observerte stresset fisk i form av uro og økt overflateaktivitet og ved kontroll av enkeltfisk så vi risttap og hudblødninger. Vi prøvde ut bruk av sedasjon- og anestesimiddelet AQUI-S vet første gang ved lokalitet Sæterosen i begynnelsen av juni 2019, i tett samarbeid med Scanvacc AS v/Lars Speilberg. Vi har deretter etablert en prosedyre som er tilpasset og brukt Hamnsundet og de to andre lokalitetene, og har dette som standard ved flytting av fisk mellom merder, inkludert sortering, og ved levering av slaktefisk.



Bilde: Thea Vikingstad fra Høgskulen på Vestlandet måler vannkvalitet inne i merd, Hamnsundet, 17.10.2018 (Foto: Veterinærinstituttet).

Hovedpunktene er oppsummert nedenfor:

- Legemiddel forskrives av helsepersonell med tilsynsansvar på lokaliteten, som også overvåker gjennomføringen.
- Det lages en stamløsning som tilsettes merden gjennom ett av innløpene.
- Fisken blir lett bedøvet i merd før lastning til brønnbåt, med en hoved-dosering og en etterdosering av legemiddelet. Dette ble justert ut fra fiskestørrelse, vanntemperatur og hvilken arbeidsoperasjon som skulle utføres.
- Vi har erfart at dette gir roligere svømmeadferd, en fisk som er lettere å samle i avkastet og svært stabile oksygenverdier både i merd og i brønnbåt.
- Tidsbruk til avkast og innpumping til brønnbåt er vesentlig redusert.
- Slik sedasjon kan være ekstra viktig ved håndtering av syk eller svekket fisk.
- Vi har ikke registrert noen skader eller dødelighet knyttet til slik bedøvelse.

YTRE MILJØ

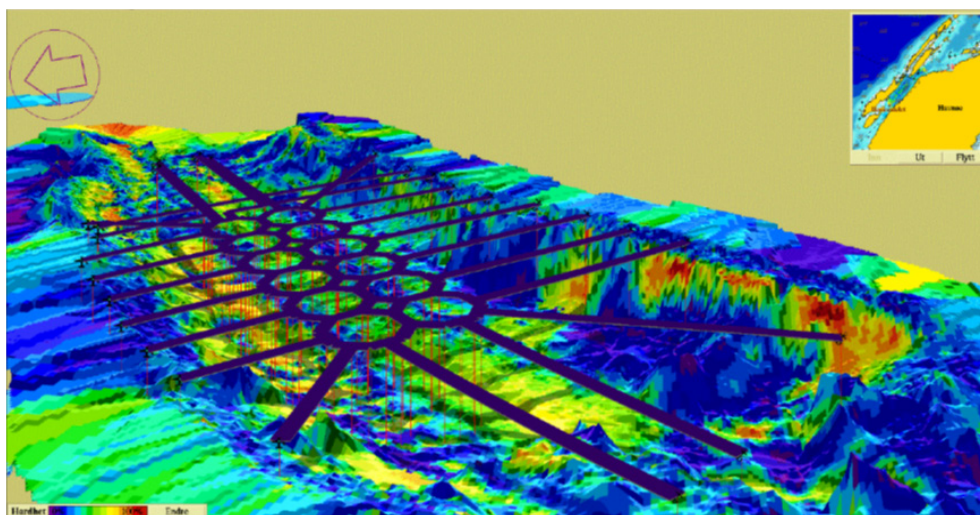
I perioden har vi utført en lokalitetskartlegging (2017) og fire MOM-B er utført i perioden november 2018 til april 2020. I tillegg kommer detaljerte lokalitetsmålinger utført i samarbeid med Force (se egen rapportering i [vedlegg 11](#)). En oversikt over undersøkelsene er gitt i tabell 4-17.

Tabell 4-17: Oversikt over undersøkelser gjennomført ved det lukkede anlegget på Hamnsundet.

RAPPORTDATO	Utført av	Test	Ref
23.08.2017	Aqua Kompetanse AS	C-forundersøkelse	76-4-17C
10.05.2017	Aqua Kompetanse AS	Vannstrømmåling	120-5-17S
11.05.2017	AQUA KOMPETANSE AS	B-UNDERSØKELSE	82-4-27B
11.05.2017	AQUA KOMPETANSE AS	HAVBUNNSKARTLEGGING	123-5-17M
05.05.2017	DNV-GL	LOKALITETSRAPPORT	LR-11052017-1
08.01.2019	AQUA KOMPETANSE AS	B-UNDERSØKELSE	311-11-18B
07.06.2019	Aqua Kompetanse AS	B-undersøkelse	113-5-19B
25.11.2019	Aqua Kompetanse AS	B-undersøkelse	289-10-2019
11.04.2020	Aqua Kompetanse AS	B-undersøkelse	114-4-20B

I C-undersøkelsen før oppstart ble anleggssonen (C1) på Hamnsundet vurdert å ha «God» klassifisering for faunaindeks og TOC (sediment av marin opprinnelse), «Svært god» for nivå av kobber og «Svært god» for vannkvalitet.

Lokaliteten hadde en moderat til god vannstrøm, grovt bunnsediment og det var små endringer i salinitet, temperatur og oksygen i vannsøyla. Saliniteten lå rundt 34 ppt, oksygenmetningen varierte fra 106,6 % i overflata til 98,7 % ved bunnen (resultat tydelig påvirket av våroppblomstringa). I kartleggingen av vannstrøm varierte gjennomsnittlig vannhastighet fra 5 til 50 m mellom 4 og 8 cm /s, maksimal hastighet 18 til 31 cm/s, med 2,7 til 5,7 % av målingene med nullstrøm tabell 4-18). Havbunnskartlegginga (figur 4-13) viste at anlegget ble liggende i sørvest/nordøstlig retning med dybde på 50 til 60 meter, en bratt skråning opp mot Hamnøya i øst og en hardbunn dominert av skjellsand, sand og noe fjell, men med spredte områder med bløtbunn.



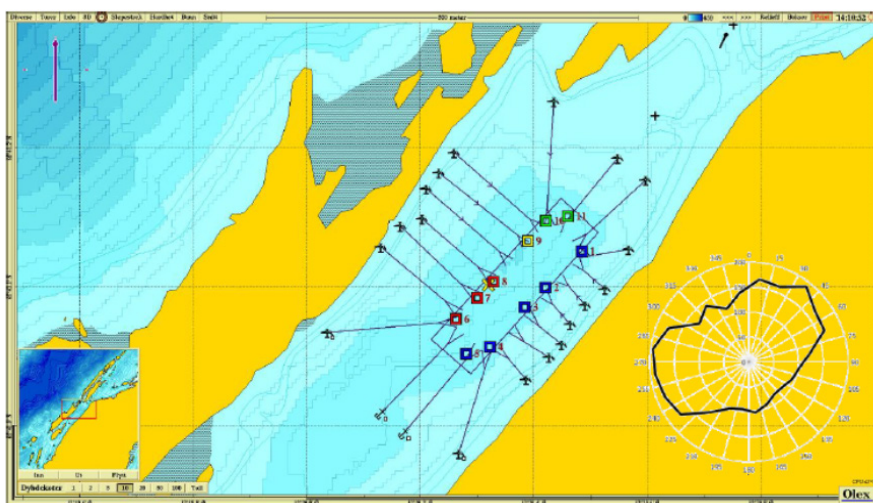
Figur 4-13: Tredimensjonal bunntopografi med anlegg (sett fra øst-nordøst) og bunnhardhet for Hamnsundet. Hardbunn er markert med rødt, bløtbunn med blått. Kartkilde: Olex.

Tabell 4-18: Oppsummering av strømkartlegging april-mai 2017, Aqua Kompetanse, C-forundersøkelse (23.08.2017).

PARAMETER	5m	15m	40m	50M
Gyldige målinger/totalt	4507/4523	4507/4523	4523/4523	4523/4523
Gjennomsnittsstrøm (cm/s)	8	5	4	4
Maksimalhastighet (cm/s)	31	19	18	19
Strømstyrke 0-1 cm/s (%)	2,70	5,10	5,70	5,00
Strømstyrke 1-3 cm/s (%)	13,90	26,70	35,10	31,70
Neumannsparameter	0,15	0,04	0,13	0,16
Standardavvik (cm/s)	5	3	2	2
Signifikant maksimum strømhastighet (cm/s)	14	8	6	7
Signifikant minimum strømhastighet (cm/s)	3	2	22	2
10 års returstrøm (cm/s)	51,9	30,6	-	-
50 års returstrøm (cm/s)	58,1	34,3	-	-
De 4 hyppigst forekommende strømningsgruppene (°)	45 - 60 30 - 45 210 - 225 195 - 210	210 - 225 30 - 45 45 - 60 195 - 210	30 - 45 270 - 285 255 - 270 225 - 240	45 - 60 30 - 45 60 - 75 15 - 30
De 4 hyppigst forekommende ømhastighetsgruppene (cm/s)	3 - 5 5 - 7 1 - 3 7 - 9	3 - 5 1 - 3 5 - 7 7 - 9	1 - 3 3 - 5 5 - 7 7 - 9	1 - 3 3 - 5 5 - 7 7 - 9
Mest vannutskifting/retning 15 graders sektor	1028 M ³ /M2 PER DAG VED 45 - 60	360 M ³ /M2 PER DAG VED 210 - 225	195 M ³ /M2 PER DAG VED 270 - 285	290 M ³ /M2 PER DAG VED 45 - 60
Minst vannutskifting/retning 15 graders sektor	41 m ³ /m2 per dag ved 315 - 330	1028 M ³ /M2 PER DAG VED 300 - 315	83 M ³ /M2 PER DAG VED 135 - 150	81 M ³ /M2 PER DAG VED 150 - 165

I lokalitetsrapporten fra DNV-GL ble sterkest strøm derimot målt på 15 m dyp (april – mai 2017), dette må vi også vurdere sammen med resultatene fra den mer omfattende måleserien til Force (2018-2019). Vi ser at disse måleseriene ikke gir entydig like resultater, og vi har identifisert dette som en utfordring ved både plassering, design og dimensjonering av denne typen anlegg.

I tida fra juni 2018 til august 2020 har vi utført 4 MOM-B undersøkelser, resultat fra disse er oppsummert i tabell 4-19. Den første testen ble tatt 5 måneder etter oppstart, og da ble samlet lokalitetsvurdering klasse 2 «God», med en indeks på 1,55. Det var særlig tre prøvepunkter i anleggets sørvestlige hjørne som ga utslag på alle tre prøve kategorier (fauna, elektrokjemisk, fysisk). Neste B-test i mai 2019 viste et ganske likt resultat, med en indeks på 1,56. I oktober 2019 hadde var klassingen fremdeles «God», men indeksen hadde steget til 1,77 og nå var det en økt belastning langs hele anleggets vestsida, og mest i nordvest. Ved den siste testen i april 2020 var indeksen sunket til 1,00 og klassen var «Svært god», mens den største belastningen fortsatt ble påvist på anleggets vestlige og nord-vestlige kant. Anlegg med B-stasjoner er vist i figur 4-14, og miljødata fra 5 MOM-B undersøkelser er vist i tabell 4-19.



Figur 4-14: Kartet viser anleggsplassering sammen med B-stasjoner og fortøyningslinjer. Kilde: Olex. Kartdatum WGS84.

Tabell 4-19: Resultat fra 5 MOM-B-undersøkelser på Hamnsundet, april 2017 til april 2020. Test i april 2017 ble gjort under lokalitetskartlegging før oppstart, de øvrige testene er gjennomført med moderat til høy biologisk belastning på lokaliteten. Det har ikke vært noen brakkelegging siden første innsett 23.06.2018. Score = samlet vurdering der 1 = meget god, 2 = god, 3 = dårlig og 4 = meget dårlig. N= antall prøver totalt pr test, fordelt på ulike scores, utseende av slam: antall prøver med avvik på slamtykkelse over 2 cm, bobling, fargeavvik, synlig tilstedeværelse av forpartikler eller avføring.

Dato	Score	n	1	2	3	4	n>2 cm	Bobling	Farge	Fôr	Avføring
06.04.2017	1	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0
29.11.2018	2	11	6	1	1	3	0	3	7	0	0
07.05.2019	2	11	5	2	1	3	2	2	4	4	6
28.10.2019	2	11	6	0	3	2	3	2	6	0	7
11.04.2020	1	12	8	1	2	1	4	2	4	NA	NA

5. EVALUERINGER OG LÆRING FRA PROSJEKTET

Driftserfaringene fra utviklingsprosjektet har medført suksessive endringer og tilpasninger til utfordringer som har dukket opp på anlegget, noe som er redegjort for tidligere i denne sluttrapporten. Vi har imidlertid hatt overveiende gode og positive erfaringer med driften av anlegget i løpet av utviklingsprosjektet. Det kan naturligvis dukke opp behov for ytterligere justeringer av tekniske innretninger i anlegget, men dette vil ha karakter av driftsoptimalisering siden anlegget nå fungerer etter forventningene. Vi mener at konseptet til Akvafuture AS med semilukkede merdsystem nå er klart for kommersiell produksjon av laks, i henhold til målet med prosjektet.

Det vil fremdeles være behov for forskning knyttet til fiskevelferd, og økonomisk og miljømessig bærekraft av produksjon i lukkede merdsystem. Dette vil vi fortsatt bidra til gjennom produksjon av matfisk i forskningsprogrammet med forskningskonsesjoner, parallelt til en kommersiell produksjon med utviklingskonsesjoner konvertert til ordinære konsesjoner.

Gjennom utviklingsprosjektet er det designet et styrings- og overvåkingssystem for drift av det lukkede anlegget. Av de mest kritiske systemene for drift av anlegg med semilukkede merder er overvåking og tilførsel av vann og oksygen. Anlegget er utstyrt med sensorer som overvåker vanninntak og oksygentilførsel og metning, og automatiske system fra eget design som styrer inntakspumper og tilførsel og diffusjon av oksygen i merdene. Merden holdes stabil med jevn og konstant høy vannflow gjennom styring av avløpssystemet mot riktig nivå og trykk i den lukkede posen.

Konseptet har også back-up systemer med egne strømaggregat som slår inn ved strømstans, slik at vitale komponenter driftes som normalt. Det er i tillegg back-up-systemer med batteridrift for mange timer til måling og regulering av oksygen, samt alarmsystem. Flytende oksygen er uavhengig av strøm etc.- her vil tankene forsyne anlegget med oksygen uten tilførsel av ekstern energi. I tilfelle tilførselsfeil på oksygen fra tankene, er det likevel et back-up- system med komprimert oksygen på flaksebatterier for hver merd. Det er eget personell med teknisk kompetanse som følger opp og gjennomfører jevnlig service, og driftspersonell går i vaktordning med utrykning ved a-alarmer.

Med disse systemene har anlegget vist seg driftssikkert gjennom hele utviklingsprosjektet, inkludert i perioder med strømstans.

5.1 OPPLÆRING AV DRIFTSPERSONELL

Driftspersonell til det nye anlegget på Hamnsundet ble ansatt ved byggestart og har deltatt i oppbygging av anlegget for å lære teknologien best mulig å kjenne før oppstart med fisk i anlegget. Under hele utviklingsprosjektet har det vært tett kontakt med eget kompetansepersonell og vår vitenskapelige partner Veterinærinstituttet. På denne måten har kunnskapen vi har opparbeidet gjennom FoU-arbeidet og FoU tillatelsene blitt direkte overført til praktisk drift.

Eksempler på dette er styringen av vannstrøm og oksygentilsetting som skiller seg fra tradisjonelt oppdrett i åpne merder. Driftspersonell har selv også deltatt i det praktiske byggearbeidet. Dette programmet har skapt økt sikkerhet for driften og økt eierskaps-følelsen hos driftspersonellet til utviklingsprosjektet. Vi mener dette er en viktig årsak til at prosjektet har nådd sine mål og vært vellykket.

Driftspersonellet har også gjennomført egne opplæringsprogram som har omfattet:

- Fiskevelferd
- Vurdering av gjellehelse
- Kategorisering av dødelighet
- Bruk av Aqui S til stressfri håndtering av fisk

DRIFTSERFARINGER OG PRODUKSJONSKAPASITET

Anlegget har gjennomført to sykluser med produksjon av slaktefisk, men det har også vært forsøk med produksjon av storsmolt (500 g) og smålaks (2000 g). Ved produksjon av slaktefisk har vi hatt en biomassetetthet på inntil 53 kg/m³.

Vi har dokumentert at produksjon med biomassetetthet > 50 kg/m³ eller spesifikt vannforbruk (SVF) < 0.2 L/kg/min nærmer seg grensene for hva som er forsvarlig for opprettholdelse av god helse og velferd på fisken i anlegget. For å sikre god vannkvalitet og fiskevelferd er derfor 50 kg/m³ satt som øvre biologiske belastning i anlegget.

I tillegg er anleggets tekniske spesifikasjoner og driftsrutiner definert til å levere et spesifikt vannforbruk (SVF) ≥ 0,2 L/kg/min og oksygenverdier mellom 85 og 100 % metning. Vi har satt som mål å sikre en stabil og god vannhastighet, samtidig som det er viktig å sørge for en lang nok holdetid for fôrpartikler og en effektiv sjørensing av merdene. Styring av stabilt produksjonsmiljø i merdene krever høy kompetanse hos driftspersonell. Utvikling av driftsprosedyrer og opplæring av personell har derfor vært en viktig del av utviklingsprosjektet. Gjennom utviklingsfasen har vi kartlagt alle relevante parametre, utredet mulige avvik og implementert tekniske løsninger og driftsrutiner som gjør at disse standardene vil bli innfridd ved kommersiell drift av anlegget.

5.2 EVALUERING TEKNISK

Prosjektet med langtidsmålinger av belastninger på anlegget ved ulike miljøforhold og hvordan anlegget responderer på ulike forhold har vært omfattende og vellykket. Målingene har også vært anvendt til parameterisering av beregningsmodellen til FORCE Technology for semilukkede merdanlegg etter mønster av Hamnsund-anlegget.

Målinger, beregninger og modellsimulering bekrefter at designet fungerer og har mer enn tilstrekkelig konstruksjonsstyrke for å stå imot miljøkreftene anlegget kan utsettes for ved lokaliteten Hamnsundet. Resultatene fra den tekniske dokumentasjonen og modellutviklingen i prosjektet er en forutsetning for å kunne gjøre videre eventuelle design-optimaliseringer av Akvafuture sine anlegg.

Hovedfunn fra arbeidet med teknisk dokumentasjon er:

- Målinger og beregninger viser at Akvafuture sitt anlegg tåler større miljøbelastninger enn tidligere dokumentert.
- Målingene viser at anlegget kan tåle belastning med sjøtilstand opp mot Hs = 1.8 m.
- Beregningsmodellen til FORCE Technology som er tilpasset Hamnsundanlegget samsvarer med måling av krefter og virker på anlegget, selv om kraftberegningene i modellen tenderer til å være høyere enn målte krefter.
- Beregningsmodellen blir et nyttig verktøy til vurdering av mulige lokaliteter for lignende anlegg fremover.
- Optimalisering av anlegg med tanke på sikkerhet og kostnad bør fokusere på størrelse av anlegg, antall merder og hydrodynamiske egenskaper til betongelementer fremfor optimalisering av dimensjoner på vaiere og fortøyningslinjer.
- Optimalisering av design av betongelementene kan gjøres for å bedre sikkerhet for personell på mer utsatte lokaliteter.
- Eksisterende fortøyningsdesign er hensiktsmessig og ingen betydelige forbedringer av layout foreslås.
- Data samlet inn over lengere tid for bølger og vind tyder på at miljølastene som er dokumentert i lokalitetsrapporten er dekkende også for uvanlig sterke miljøpåkjenninger
- Gjennom utviklingsprosjektet er det designet et styrings- og overvåkingssystem for drift av det lukkede anlegget, med backup-systemer som sikrer vann- og oksygentilførsel.
- Gjennom systematisk testing har vi funnet den beste plasseringen av oksygensensorene i en lukket merd med vårt konsept. Denne kunnskapen er viktig for regulering av oksygentilførselen - både i forhold til fiskevelferd (rett metning og stabilt nivå) og økonomi (virkningsgrad/nivå).
- Vi har driftet merder med biomassetetthet på inntil 50 kg fisk/m³ vannvolum, spesifikt vannforbruk ned mot 0.2 l/kg/min og førstyrke på opp mot 40 g/m³ vannvolum, uten å gå på akkord med vannmiljø.
- Drift med de høyeste biomassetetthetene ga allikevel reduksjon i oksygenmetning og høyt partikkelinnhold i vannet, noe som antyder at vi nærmet oss maksimal produksjonskapasitet for merdene med rundt 50 kg fisk/m³ vannvolum.

5.3 EVALUERING BIOLOGISK - «KOMPAKT»; H2-H4

Produksjonen av laks i utviklingstillatelsene ved Hamnsundet har foregått i flere grupper, med hovedvekt på produksjon av slaktefisk i lukket merd. Ved lokaliteten har det i perioden også vært produsert storsmolt (500 – 1000 g) og smålaks (1500 – 2000 g). Veksten til fisken har gjennomgående vært tilfredsstillende og sammenlignbar med vekst i anlegg med åpne merder. Fôrfaktoren har i snitt vært for høy. Her har vi imidlertid fått vesentlig bedre resultater fra den senere tidens produksjon, blant annet ved hjelp av videoovervåket fôring. Og andre tiltak rettet mot effektivisering av fôrutnyttelse. Vi har hatt noe dødelighet på mindre fisk i tiden etter utsett, men marginal dødelighet på større fisk. Endelig har velferdsskår foretatt av AkvaKompetanse vært bra for 60% av merdobservasjonene. For i overkant av 10% av merdobservasjonene ble det gitt dårlig velferdsskår, noe som i hovedsak skyldtes gjelleskader.

Erfaringene fra utviklingsprosjektet på Hamnsundet og fra to andre lokaliteter, med totalt over 8 år med produksjon av laks i semilukkede merdsystem, har vist at vi i praksis helt unngår smitte av lakselus. Det er ikke gjennomført noen tiltak for lusebekjempelse i de lukkede merdsystemene. Gjentatte erfaringer tilsier at når man tar fisk med påslag av lakselus inn i anlegget, så forsvinner lusa over tid. Dette mener vi skyldes at det i praksis tas inn minimalt med smittsomme luselaver gjennom vanninntaket på 20 meters dyp. Samtidig vil luselarver som klekker fra lus som er tatt inn i anlegget med fisk utenifra, vaskes ut av systemet før disse når infestivt stadium og kan re-infestere fisk i anlegget. Produksjon av laks i sjø praktisk talt uten utslipp av lakselusmitte representerer en vesentlig miljøforbedring og forbedring av fiskevelferd sammenlignet med tradisjonelt oppdrett i åpne merder.

Med hensyn til andre smittestoff og mikrobielt miljø på lokaliteten har vi gjennomført screening av vannprøver med svært sensitive miljø-DNA prøver fra i merdene, inntaksvann og det omkringliggende vannmiljøet. Her har vi blant annet påvist og karakterisert en rekke isolater fra flere bakteriestammer som er kjente fiskepatogener knyttet til sår eller finneråte. Videre har vi påvist kjente gjelleagens fra laks inntil 200m fra anlegget. Ved kartlegging av den mikrobielle diversiteten på lokaliteten ved bruk av miljø-DNA fant vi at det mikrobielle samfunnet både på lokaliteten og i nærmiljøet endret seg markert etter utsett av fisk, og at det etablerte seg en ny likevekt som også var nært beslektet med den mikrobielle situasjonen på lokaliteter der det allerede var etablert drift. Dette er helt ny kunnskap om oppdrettsanleggs påvirkning av det mikrobiologiske nærmiljøet, som er under vitenskapelig publisering og som vi mener vil ha høy vitenskapelig interesse.

Hamnsundet har vist seg å være en god lokalitet med god vannutskifting og strømforhold. Dette vises i gjennomførte MOM-B og MOM-C undersøkelser. Vi hadde litt utfordring midtveis i prosjektperioden på grunn av høy biomasse og manglende base for håndtering av slam og fôr. Parallelt hadde vi manglende kontrollmulighet av fôrtildeling fordi vi manglet kameraløsninger som kunne avdekke adferden til fisken og fôrspill under fôring.

Konstruksjonen av innløpsarrangementene var heller ikke gunstige, og samlet resulterte dette i en dynamikk i merdene som ikke var optimal. Kontroll mot slutten av utviklingsfasen og gode MOM B undersøkelser viser imidlertid at tiltakene har fungert godt og lokaliteten er god for denne typen anlegg og drift.

Hovedfunn fra arbeidet med biologisk dokumentasjon er:

- Vi har oppnådd tilfredsstillende vekst og lav dødelighet under produksjon av slaktefisk, så vel som storsmolt og smålaks, i Akvafuture sitt anlegg med semilukkede merder på Hamnsundet.
- Vi har gjennomført omfattende overvåking av fiskevelferd i anlegget, som i hovedsak har vært vurdert som god. Viktigste årsak til nedvurdering av fiskevelferd var gjelleskader.
- Fôrfaktoren vi har oppnådd har gjennomgående vært for høy, men dette har vi nå fått kontroll på gjennom implementering av en rekke tiltak, blant annet videoovervåket fôring.
- Produksjon av laks i sjø praktisk talt uten utslipp av lakselusmitte representerer en vesentlig miljøforbedring og forbedring av fiskevelferd sammenlignet med tradisjonelt oppdrett i åpne merder.
- Det er et tydelig mikrobielt fotavtrykk av oppdrettsaktiviteten både på lokaliteten og i det nærliggende miljøet.
- Som et resultat av dette kan det vannet som tas inn i anlegget være påvirket av den mikrobielle situasjonen inne i merdene.
- Bakterier, parasitter og virus knyttet til sår og gjelleproblemer kan påvises både inne i merd, i inntaksvann og i miljøet på lokaliteten. For noen agens (*Paramoeba perurans*) kan det se ut til å være en stabilt lav tilstedeværelse i miljø, uavhengig av aktiviteten på lokaliteten, for andre agens (*B.cysticola* og Pox-virus) kan det se ut til at smitten i større grad blir introdusert på lokaliteten med utsett av fisk.
- Isolater av PRV-1 viser nært slektskap mellom virus isolert fra de tre lokalitetene med lukket merd, noe som tyder på horisontal smitteoverføring mellom lokalitetene.
- Vi isolerte flere bakterier kjent for å gi sår og finneråte, og vi isolerte en ny variant av *Moritella viscosa*, en bakterie som er forbundet med vintersår.



5.4 INVESTERINGER OG ØKONOMI JF BESKRIVELSER

I beskrivelsen av prosjektet i søknad om utviklingstillatelser skulle Akvafuture AS investere ca. 600 MNOK ved tildeling av 10 tillatelser, eller ca. 60 MNOK per tillatelse. Etter klager ble Akvafuture AS tildelt 2 utviklingstillatelser og skulle da ihht søknadsbeskrivelsen investere ca. 120 MNOK for disse to tillatelsene. Det er også gitt et oppdatert kostnadsoverslag i forbindelse med klage. Denne estimerer anlegget på Hamnsundet til å koste ca. 146 MNOK (eksklusive slamanlegg). Dette stemmer godt med de faktiske investeringene som er gjort og presentert i tabellen 5-1 under:

Tabell 5-1: Oversikt som viser investeringer gjort på utviklings-anlegget på Hamnsundet.

POST	Antall	Enhetskostnad (MNOK)	Sum (MNOK)
Lukket merdenhet*	12	6,38	76,6
Oksygenanlegg	1	1,87	1,9
Sjøbase	1	10,68	10,7
Førbase	1	19,60	19,6
Automasjon og elektro	1	7,00	7,0
Annet driftsutstyr	1	5,10	5,1
Andel fartøyer**			13,7
Utviklingskostander			14,9
Lønnskostnader			2,6
Sum			152,0

* Inkluderer også investeringer i driftsboder, oksygensystem etc.

** Akvafuture AS eier 2 stk katamaraner (MS Laurits og MS Enviro), 4 personalbåter (Polarcirkel 845 Cabin) samt flere mindre båter.



5.5 OPPSUMMERING AV EVALUERINGS-PUNKTER (INKLUDERT H1)

En oppsummerende oversikt over evalueringspunkter og forbedringsmuligheter og/eller tiltak er gitt i oversikten nedenfor.

EVALUERINGS-PUNKT	HVA ER FORBEDRET/ HVILKE TILTAK ER GJORT	STATUS OG FREMDRIFT
Nytt design avløp for økt slamoppsamling	Fiske-faeces og pellet bør i minst mulig grad kunne slippe ut av merdens avløp. Det er derfor designet et nytt avløp for å optimalisere dette.	Det nye systemet fungerer godt. Vi vil imidlertid optimalisere dette ytterligere, men små endringer som ssv vil kunne øke slamoppsamlingen ytterligere. I tillegg vil vi vurdere et eksternt slamoppsamlings-system for å fange opp eventuelle partikler som evt går ut av avløpet.
Nytt design avløp for mer effektiv tømning av fisk fra merd	Ved tømning av fisk fra merdene har det ved enkelte tilfeller blitt stående igjen fisk som ikke har latt seg gjøre å tømme ut av merd. Avløpskonstruksjonen har vært en vesentlig årsak til dette. Nytt design hvor hele avløpet senkes ned er derfor konstruert og montert i halve anlegget.	Det nye designet forenkler prosessen med tømning av fisk. Vi kan nå optimalisere not-systemene vi bruker ytterligere, og dette vil også bidra til mer effektiv tømningstid av merdene. Avløp med «gammelt» design kan enkelt bygges om tilsvarende det nye designet.
Nytt design innløp for optimalisering av vandndynamikk og flere biologiske og økonomiske faktorer	Konstruksjon og dimensjonering av innløps-systemene bestemmer både vannmengde, sirkulasjonshastighet og strømforbruk for vanntransporten gjennom merdene. Her er innløpene optimalisert gjennom tilpasninger av dimensjoner, vinkler og materialvalg. Det er også konstruert løsninger for å kunne justere viktige parametere under den ordinære driften.	Dette fungerer svært godt, og kan gi nye muligheter for driften fremover, både med hensyn til vannforbruk, svømmehastighet, før-tildeling og før-fordeling i merden, slamopptak, og justerbar trimming av fisk i forhold til tid, fiskestørrelse og fiskekvalitet.
Utvidet og forbedret overvåkingssystem for bedre oversikt og kontroll i produksjonen	Det er satt inn nye typer sensorer og flere sensorer. Det er gjennomført prosjekter for optimal plassering av sensorer for representative målepunkter/målinger, spesielt for kritiske sensorer (oksygen f.eks.) Hydrauliske systemer er oppgradert med bla endret materialvalg og nye automasjon. Nye innstillinger etter nye sensorer og endring i sensoroppsett for færre unødvendige alarmer.	Et helhetlig og trygt overvåkings- og styringssystem er nå i drift og skaper god drift av anlegget med svært få alarmer. I tiden fremover vil systemet videreutvikles, slik at alle systemer (fôring, slamanlegg etc) får felles IT/digital-plattform, og hele anlegget overvåkes med enkel lysangivelse for status/tilstand (grønt, gult og rødt). Videre vil prosesser som dødfisk-håndtering etc utvikles og testes for fullautomatisering innen kort tid.
Førtildelingsløsninger	Førtildelingsløsninger for både overvanns- og undervannsfôring er utviklet og testet.	Begge systemer fungerer godt, og vil i fremtiden kunne brukes hver for seg, delvis overlappende eller parallelt - avhengig av fiskestørrelser, biomasser og ssv fiskeart.

EVALUERINGS-PUNKT	HVA ER FORBEDRET/ HVILKE TILTAK ER GJORT	STATUS OG FREMDRIFT
Nytutviklede undervanns-kameraer	Vi har i innledende fase ikke hatt undervannskameraer som har kunnet brukes for optimalisering av føring og førtildeling. Dette har tidvis gitt forhøyet førfaktor, og spesielt på stor fisk (2-3 kg og opp til slaktevekt)/høy biomasse. Vår samarbeidspartner har utviklet nye forbedrede undervannskameraer. Disse er vesentlig bedre og nå så gode at pellets og faeces nå lett lar seg skille.	De nye kameraene er installert i hele anlegget og fungerer meget bra. Sammen med føringssystem er det også investert i ny sentralførings-løsning for fjerndrift/ fjernstyring. Dette vil bli ytterligere optimalisert og tilpasset i tiden fremover.
Oppsamlingsløsning for slam og dødfisk	I tidlig fase var slamopsamling fra avløpssystemet og dødfisk-systemet totalt separert. Det ga noe «lekkasje» av slam i forbindelse med dødfisk-kjøring. I det nye systemet er selve oppsamlingsystemene fortsatt separert, men disse kjøres nå inn i en felles løsning hvor evt slam fra dødfisk-kjøring separeres og overføres til slamsystemet for videre transport til filter.	Dette fungerer meget godt. I tiden fremover vil vi imidlertid optimalisere kjøring av pumper og undersøke muligheter for mellom-sedimentering for å effektivisere bruk av pumper, filter og slambearbeidings- og slamtørke-anlegg.
Fortøyningspunkt betongelement	I første versjon av konseptet var fortøyningspunktene i betongelementene på elementenes ytterside. Dette skapte utfordringer i forhold til fartøy som kunne komme borti fortøyningen, og punktene virket å trekke betongelementene noe ned under høy sjø. Nytt design ble laget og anlegget har nå betongelementer med fortøyning på innersiden for å unngå disse utfordringene.	Nytt design fungerer meget bra og vil bli valgt også fremover uten endring.
Flere kanaler for trekkerør i betongelementer	Underveis i prosjektet har det blitt større behov for kanaler til slanger, ledninger, rør etc gjennom anlegget. Det er laget flere kanaler i betongelementene, slik at slanger, rør, ledninger for strøm og ledninger for signaler/sensorer holdes adskilt. Det er også laget flere tverrgående kanaler og utløpt for konfigurasjonsendringer, bla for belysning, førtildelingssystemer etc.	Nytt design fungerer meget bra og vil bli valgt også fremover uten endring.
Wireløsninger i og mellom betongelementer	I henhold til måleserien gjennomført av Force Technology Norway AS gjennom det tekniske prosjektet «HANMSUNDET», er det anbefalt at wirespenningen/strammingen sjekkes.	Ny prosedyre for dette vil tas inn i neste revisjon av brukerhåndbok.

EVALUERINGS-PUNKT	HVA ER FORBEDRET/ HVILKE TILTAK ER GJORT	STATUS OG FREMDRIFT
Sjøbase med fasiliteter	Sjøbase med nødvendige og ønskelige fasiliteter for et lukket anlegg har blitt utviklet underveis i prosjektet. Det har vært noe krevende å gjøre detaljerte beregninger av lastene for selve betongflåten, men dette er nå gjennomført og nytt anleggssertifikat inkludert sjøbase er nå etablert.	Sjøbasen har vist seg å fungere svært godt. Slike baser vil benyttes også fremover, slik at våre lukkede anlegg ikke har behov for landbaser og bruk av store landarealer for driften. Selve inndelingen av rom etc, vil imidlertid ssv kunne bli endret eller tilpasset fremover.
Oksygensikkerhet	For sikker tilgang på flytende oksygen fra lagertank (LOX) til anlegget, er tilførselssystemet optimalisert.	Tidligere var det ett uttak, nå er dette endret til to uttak.
Biologiske resultater etter produksjonssykluser	Tekniske endringer og tiltak beskrevet ovenfor i denne tabellen.	De biologiske resultatene er gode, og dette viser at de tekniske endringene og tiltakene har gitt ønsket effekt og resultat. Etter litt utfordring med dynamikk, førtildeling og førfaktor i en midt-fase i prosjektet, viser resultatene fra den pågående produksjonen lav førfaktor (1,1), lav dødelighet (0,8% periode), god tilvekst (VF3=2,9), god superiorandel på slaktefisken (ca. 90%). I tillegg er det god dynamikk i merdene. Slamoppsamlingen er forbedret etter tiltak, og det mikrobiologiske miljøet og fiskevelferden er god. Samlet for all fisk som er slaktet er superiorandelen tilnærmet 90%, som igjen tyder på god kvalitet på fiskegruppene med få feil, sår etc. De biologiske resultatene viser nå at teknologien kan benyttes til kommersiell lakseproduksjon.
HMS	Sikkerhet i forbindelse med drift og bygging. Opplæring av personell	Forbedrede rutiner og sikkerhets- og verneutstyr. Det er laget eget opplæringsopplegg for både driftspersonell, lærlinger og tilkallingsvakter.
Andre driftsprosedyrer/ læring	Det dannes H2S i forbindelse med transport og lagring av slam. Det gjennomføres oppdatering av risikoanalyser for tiltak og reviderte prosedyrer for eventuelle endringer utover dette. I henhold til kunnskapsløftet har vi tatt hensyn til de ansattes medbestemmelsesrett med gjennomgang og oppgradering av våre systemer som ligger til grunn for den daglige driften.	H2S - varslingssystem for økt sikkerhet til driftspersonell.

6 VEIEN VIDERE - SUKSESSKRITERIER FOR KOMMERSIALISERING

Bruken av konseptet går nå over i en kommersiell fase hvor de biologiske og tekniske erfaringene skal benyttes til etablering av drift som også kan gi økonomiske resultater.

Videre forskningsarbeid for optimalisering av den biologiske driften, med tilhørende tekniske optimaliseringspunkter, vil fortsette også i tiden fremover med sikte på videre kommersialisering av konseptet. Vi har nå et erfaringsgrunnlag gjennom driften av anlegget på Hamnsundet som gir oss muligheter til strategisk innretning av produksjonen, med tanke på å oppnå lønnsomhet. Samtidig vil vi gjennom fortsatte FoU-aktiviteter videreføre innovasjonen med lukket merd-teknologi. Det forskes fortsatt på åpne merder, selv om vi har benyttet dette kommersielt for lakseproduksjon i snart 50 år. På tilsvarende måte vil ny teknologi kreve parallell kommersiell bruk med forskning og utvikling.

INTERNE SUKSESSFAKTORER

For kommersialisering av teknologien må Interne kritiske suksessfaktorer opprettholdes og sikres over i ny fase. Vi har over tid dokumentert en produksjon:

- Uten påvirkning fra lakselus
- Uten rømming
- Med vesentlig redusert organisk utslipp

Dette er de viktigste og sannsynligvis avgjørende kriterier for suksess også fremover og dette mener vi å ha god kontroll på at kan opprettholdes over i den kommersielle fasen.

Etter analyse og gjennomgang internt i organisasjon og i styre, har vi isolert to avgjørende og kritiske suksessfaktorer 1) Driftssikkerhet, slik at man unngår tekniske havari og 2) Biosikkerhet, slik at man unngår å få alvorlig sykdom inn i anlegget.

I oversikten nedenfor vises hvilke spesifikke fokusområder vi har knyttet til de interne kritiske suksessfaktorene.

DRIFTSSIKKERHET - UNNGÅ TEKNISKE HAVARI	BIOSIKKERHET - UNNGÅ ALVORLIGE SYKDOMMER
NYTEK	Eget kravoppsett for inspeksjon og godkjenning av brønnbåter og servicebåter som kommer til våre anlegg
Drift med alarmer og vaktordning for uttrykking	Jobber med mulighet for utsett av stor smolt (fra RAS eller annet lukket sjø anlegg), slik at fisken kan stå uten noen form for håndtering fra utsett til slakt på samme lokalitet
Eget servicepersonell	Gode brakkleggings- og slamoppsamlingsrutiner
Egne servicefartøy	Fortsetter forskningsprosjekter for ytterligere kartlegging og oppfølging av viktige biologiske parametere.
Egen kompetanse på elektronikk, automasjon og oksygen	Ikke lus - ingen håndtering. Gir også bedre fiskevelferd - trenger ikke rensfisk!
Fortsette optimaliseringsarbeid	Fortsette forskning gjennom samarbeid med vitenskapelige samarbeidspartnere
Implementere læringspunkter og fortsette evaluering	Implementere læringspunkter og fortsette evaluering

- Tillit gjennom etterlevelse av regelverk. Med fokus på omdømme, myndighetskrav og interne regler, prosedyrer og HMS.
- Sertifisering av fisk og utstyr. Med fokus på NYTEK og fremtidsrettede krav til kvalitet og sammensetning på laks som produkt (Fish in-Fish out ratio, miljøgiftinnhold, Omega3 innhold, naturlig pigment etc).
- Strategisk kommunikasjon. Med fokus på relasjon, samfunn, organisasjon, marked og branding.
- Riktig kompetanse for optimal drift: Med fokus på å skaffe og opprettholde riktig kompetanse for sikker drift. Bruke verktøy for produksjonsplanlegging og kontroll i alle ledd
- Involvering. Med fokus på å skape engasjement, eierskap og økt fokus. God kommunikasjon internt og gode holdninger og identitet.
- Gode og riktige innkjøp (både teknisk og biologisk). Med fokus på strategiske leverandører som støtter oppunder vår strategi og benytte leverandører med rett kompetanse og kapasitet.

Utover dette er det i tillegg gjennomført en grundig SWOT-analyse.

NYE RAMMEBETINGELSER

Ordningen med utviklingstillatelser skulle bidra til teknologiløft innen akvakulturnæringen for å løse miljøutfordringer og arealutfordringer. Vårt konsept bidrar til å løse begge utfordringene, for eksempel ved at vi i praksis driver uten påvirkning og utslipp av lakselus. Investeringer i anlegg og drift av anlegg med lukket merdteknologi er imidlertid kostbart sammenlignet med tradisjonell åpen merdteknologi. Det er derfor et avgjørende suksesskriterium for kommersiell bruk av denne typen teknologi, og annen teknologi som utvikles gjennom utviklingskonsesjons-ordningen, at myndighetene følger opp med rammebetingelser der den nye teknologien premieres for å skape en miljømessig bærekraftig vekst innen norsk havbruksnæring.

Akvafuture har bidratt aktivt inn mot dokumentasjon av areal- og miljørelaterte fordeler med lukket merdteknologi, med mål om å påvirke rammebetingelsene for drift av slike anlegg. Vi har delt kunnskapen fra både forskningsprosjekter og utviklingsprosjektet gjennom rapporteringer og publiseringer. Det er produsert flere vitenskapelige publikasjoner fra arbeid og dokumentasjon med vår teknologi. Vi har hatt besøk av regionale politikere, stortingspolitikere, statssekretærer og statsråder - senest av fiskeriministeren og distrikts- og digitaliseringsministeren i juni 2020. Vi bidrar til at kunnskapen fra prosjektene hos oss deles på konferanser, senest på Havbruk 2020, og vi vil fortsette med disse bidragene. Vi svarer på høringer og påvirker til økt satsing på enda mer miljømessig bærekraftig havbruk.

Vi tar også mot besøk fra organisasjoner som ønsker, og har hatt besøk av Naturvernforbundet, Miljøvernforbundet, Norske lakseelver, fiskarlag og andre som ønsker å få mer kunnskap om hva vi gjør. Vi har også delt kunnskap og budskap gjennom deltakelse i programmer - blant annet «Den fantastiske villaksen» på NRK.

Basert på dette vil vi helt konkret jobbe videre med forslag til hvordan myndighetene kan legge til rette for bruk av denne typen teknologi, for eksempel med egne konsesjonsordninger, eller i forbindelse med nye krav for videre vekst innen havbruksnæringen både nasjonalt og internasjonalt.

OPPSUMMERT

Resultatene fra prosjektet og evalueringen som ligger bak oppsummeringen av interne suksesskriterier viser etter vår mening at vår teknologi nå både er utviklet til en kommersiell standard og med et betydelig forbedret miljømessig bærekraft sammenlignet med produksjon av fisk i åpne oppdrettsmerder. Dette gjelder i første rekke totalt fravær av lus og muligheten for å samle opp slam og i tillegg en redusert risiko for rømming av fisk. Vi har også hatt en svært god kvalitet på slaktefisken.

ANDRE SUKSESSKRITERIER

Det finnes mange anvendelsesmuligheter for vårt konsept med lukket merdteknologi. Det mest opplagte og som næringen diskuterer er bruk av lukkede systemer for produksjon av storsmolt/smålaks for overføring til åpne merder og produksjon frem til slaktestørrelse, med redusert eller helt uten behov for avlusning. Her vil vårt lukkede merdkonsept være vesentlig rimeligere enn landbaserte RAS-løsninger.

Resultatene fra prosjektet og evalueringen som ligger bak oppsummeringen av interne suksesskriterier viser etter vår mening at vår teknologi nå både er utviklet til en kommersiell standard og med et betydelig forbedret miljømessig bærekraft sammenlignet med produksjon av fisk i åpne oppdrettsmerder. Dette gjelder i første rekke totalt fravær av lus og muligheten for å samle opp slam og i tillegg en redusert risiko for rømming av fisk. Vi har også hatt en svært god kvalitet på slaktefisken.



Bilde: Styreleder Brynjar Forbergskog og Arve Nilsen fra Veterinærinstituttet på befaring ved anlegget i Hamnsundet.

VEDLEGG

1. Fakta-ark Akvadesign Konsept
2. DNV GL Noomas - Produktsertifiseringsbevis
3. Leverandører, transport og forsikring
4. Funksjonstesting
5. Designendring
6. Produktsertifiseringsbevis PRONO 071-03-Akvadesign
7. Anleggssertifikat ALTNO 294.01 38057 Hamnsundet
8. Kontrollprogram før utsett av fisk
9. Driftsplanlegging - Program for teknisk og biologisk dokumentasjon
 - a. Avtaledokument NFR KOMPAKT
 - b. Prosjektbeskrivelse NFR KOMPAKT
 - c. Force HAMNSUNDET Measurements and calculations of closed cage fish farm at Hamnsundet
10. Halvårsrapport - 1. Halvår 2019
 - a. Delrapport biologi
 - i. Økonomirapport NFR
 - ii. Fremdriftsrapport NFR
 - b. Delrapport Teknologi
11. Halvårsrapport - 2. Halvår 2019
 - a. Avsluttende rapport teknisk - Måling av miljølaste og respons i strukturen
 - b. Avsluttende rapport teknisk - Validering av analysemodell
 - c. Biologisk - Rapport Hamnsundet 2018-2019/KOMPAKT
 - i. SPSS Hamnsundet 2019 tilsynsdata
 - ii. Tabelldata Hamnsundet
 - iii. Temperaturer 5 lokaliteter 2019
12. Halvårsrapport - 1. Halvår 2020
 - a. Presentasjon Havbruk 2020 - David Strand_Fiskehelse og mikrobielt miljø
 - b. MOM-B Hamnsundet april 2020
 - c. Miljødiplom Akvafuture AS utstedt i 2020 for 2019
 - d. Miljødiplom Hamnsundet utstedt i 2020 for 2019
13. Velferdsindikatorer
14. Alle produksjonsdata
15. Referanseliste

Rapporten er utarbeidet av Anders Næss og godkjent av styret ved styreleder Brynjar Forbergskog.

Til utforming av faglig innhold i rapporten har Arve Nilsen (Veterinærinstituttet) og Peder Jansen (INAQ) hatt større leveranser.

Juridisk rådgivning ved Wikborg|Rein.

Layout/design: Aleksander Danielsen/Trond Eide, Visual 360

