

Overvåkingsprogram og kompetansehevingstiltak knyttet til vannkvalitet og fiskehelse i marine yngel- og settefiskanlegg (MarinVest)



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

Tittel Overvåkingsprogram og kompetansehevingstiltak knyttet til vannkvalitet og fiskehelse i marine yngel- og settefiskanlegg (MarinVest)	Løpenr. (for bestilling) 6782-2015	Dato 23.juni 2015
	Prosjektnr. Undernr. 10469	Sider Pris 66
Forfatter(e) Ole-Kristian Hess-Erga (NIVA) Torill Vik Johannessen (UiB) Åse Åtland (NIVA)	Fagområde Akvakultur	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vestlandet	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Vestlandsrådet, Vestlandsprogrammet for nye oppdrettsarter	Oppdragsreferanse 200813086- 67146.310/SHAN
--	---

<p>Sammendrag</p> <p>Prosjektet «Overvåkingsprogram og kompetansehevingstiltak knyttet til vannkvalitet og fiskehelse i marine yngel- og settefiskanlegg (MarinVest)» har blitt utført i samarbeid med industrideltagerne Sterling White Halibut (SWH) med anleggene på Rørvik (Rørv) og Imsland (Imsl), Nordic Halibut (NH) med anleggene Norsk Kveite (NK) og Halibut (Hal), Atlantic Cod Farms (ACF) med anlegget Atlantic Cod Juveniles (ACJ), Marine Harvest Labrus (MHL), Fjord Gadus (FG), Sande Seafarm Productions (SSP) og Skretting, samt FoU-partnerne Norsk institutt for vannforskning og Universitetet i Bergen, Institutt for biologi ved avdeling for marin mikrobiologi. Vestlandsprogrammet for nye oppdrettsarter, Vestlandsrådet har finansiert prosjektet sammen med egeninnsats fra de deltagende bedriftene og økonomisk støtte fra NIVA. Hovedmålet for prosjektet har vært å øke forutsigbarheten og optimalisere driften av marine yngel- og settefiskanlegg gjennom å gi oppdretterne verktøy til å etablere et godt vannmiljø. Prosjektarbeidet har vært delt inn i fire deler: 1) Et overvåkingsprogram av inntaksvann, etter vannbehandling og i de ulike stadiene av produksjonen (klekkeri, plommesekkstadiet, startfôring (levendefôr), startfôring (tørrfôr) og settefisk). 2) Kurs i prøvetaking og vannanalyse. 3) Individuelle vurderinger av anleggenes drift basert på overvåkingsprogrammet og anonymiserte resultat. 4) Generelle retningslinjer for sikker drift med bakgrunn i overnevnte, utformet som en håndbok i marin yngelproduksjon.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Akvakultur 2. Marin yngel 3. Produksjonsparameter 4. Mikrobiologi 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aquaculture 2. Marine fry 3. Production parameters 4. Microbiology
--	---



Ole-Kristian Hess-Erga
Prosjektleder



Åse Åtland
Forskningsleder

Vestlandsprogrammet for nye oppdrettsarter

**Overvåkingsprogram og kompetansehevingstiltak
knyttet til vannkvalitet og fiskehelse i marine yngel-
og settefiskanlegg (MarinVest)**

Forord

Prosjektet; Overvåkingsprogram og kompetansehevingstiltak knyttet til vannkvalitet og fiskehelse i marine yngel- og settefiskanlegg (MarinVest) ble startet av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) sammen med Skretting og deretter utviklet sammen med partnerne Sterling White Halibut (SWH), Nordic Halibut (NH), Atlantic Cod Farms (ACF), Marine Harvest Labrus (MHL), Fjord Gadus (FG) og Sande Seafarm Productions (SSP).

Vestlandsprogrammet for nye oppdrettsarter, Vestlandsrådet innvilget prosjektsøknaden og har finansiert prosjektet sammen med egeninnsats fra de deltagende bedriftene og økonomisk støtte fra NIVA.

Samarbeidspartnerne har vært representert ved driftsleder Henning Sandøy (MHL), driftsleder Lars Jørgen Ulvan (ACF/Atlantic Cod Juveniles-ACJ), driftsleder Frode Sørдал (FG), driftsleder Tommy Bjerke (NH-Norsk Kveite) og driftsleder Edvard Henden (NH-Halibut), Børre Erstad (SWH), driftsleder Walter Olsen-Ryum (SWH-Rørvik), driftsleder Ole Johan Østebø (SWH-Imsland), driftsleder Leif-Ole Stokseth (SSP), Erlend Waatevik (Skretting), Åse Åtland, Bjørn Olav Rosseland og Ole-Kristian Hess-Erga (alle NIVA). I tillegg har en rekke personer fra de ulike bedriftene vært involvert i prøvetaking, kurs og møter. Opplæringsprogrammet (kurs) ble gjennomført med bidrag fra Reidar Handegård, (Industrilaboratoriet), Atle Foss (Akvaplan-niva), Anne Øvrebø og Tor Alfheim (begge Innovasjon Norge). Anleggsbefaringene har vært utført med hjelp fra Reidar Handegård (Industrilaboratoriet) og Yngve Attramadal (SINTEF Fiskeri og havbruk). De utvidede bakterieundersøkelsene har i all hovedsak vært utført av Torill Vik Johannessen og Ruth-Anne Sandaa ved avdeling for marin mikrobiologi, Universitetet i Bergen.

Arbeidet har vært ledet av Ole-Kristian Hess-Erga (prosjektleder) og kvalitetssikret av Bjørn Olav Rosseland.

Takk for alle bidrag som har gjort dette prosjektet vellykket!

Bergen, 23. juni 2015

Ole-Kristian Hess-Erga
prosjektleder

Innhold

	1
Sammendrag	5
Summary	8
1. Innledning	10
1.1 Prosjektmål	10
1.2 Rammer, omfang og avgrensing	11
2. Prosjektdesign og metoder	12
2.1 Overvåkingsprogram	12
2.1.1 Analyser og målinger	15
2.2 Opplæringsprogram	17
2.3 Individuelle anleggsvurderinger	18
2.4 Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon	18
3. Resultat og diskusjon	19
3.1 Overvåkingsprogram	19
3.1.1 Fysikjemiske parametre	19
3.1.2 Mikrobiologiske parametre	32
3.1.3 Øvrige målinger og driftsparametre	53
3.2 Opplæringsprogram	58
3.3 Individuelle anleggsvurderinger	58
3.4 Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon	59
4. Konklusjon	60
4.1 Overvåkingsprogram	60
4.2 Opplæringsprogram	65
4.3 Individuelle anleggsvurderinger	65
4.4 Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon	65
5. Referanser	67

Sammendrag

Variierende og ustabil produksjon av yngel er et velkjent problem for mange marine yngelprodusenter. Dette hemmer utviklingen av nye marine arter og rammer enkeltoppdrettere hardt. Suboptimal drift, sykdom og dårlig vekst kan få alvorlige konsekvenser både i yngelfasen og i de påfølgende fasene (settefisk og matfisk). Det finnes generelt lite vitenskapelig litteratur om marin yngelproduksjon selv om det har vært drevet oppdrett av enkelte arter i lang tid. Det er viktig å opparbeide seg denne type erfaring og kunnskap gjennom systematisk kartlegging og gode vitenskapelige undersøkelser. Slik dokumentasjon og erfaring må overføres til oppdretterne for å styrke utviklingen og kommersialiseringen av marine arter. På denne måten er det mulig å forbedre beslutningsgrunnlaget og heve kompetansen for den enkelte oppdretter. Ugunstig vannkvalitet nevnes hyppig som en begrensende faktor og en kilde til suboptimal drift.

Ovennevnte har vært grunnlaget for etablering og gjennomføring av prosjektet «Overvåkingsprogram og kompetansehevingstiltak knyttet til vannkvalitet og fiskehelse i marine yngel- og settefiskanlegg (MarinVest)». Samarbeidsprosjektet har bestått av industrideltagerne Sterling White Halibut (SWH) med anleggene på Rørvik (Rørv) og Imsland (Imsl), Nordic Halibut (NH) med anleggene Norsk Kveite (NK) og Halibut (Hal), Atlantic Cod Farms (ACF) med anlegget Atlantic Cod Juveniles (ACJ), Marine Harvest Labrus (MHL), Fjord Gadus (FG), Sande Seafarm Productions (SSP) og Skretting, samt FoU-partnerne Norsk institutt for vannforskning og Universitetet i Bergen, Institutt for biologi ved avdeling for marin mikrobiologi. Vestlandsrådet gjennom Vestlandsprogrammet for nye oppdrettsarter, innvilget prosjektsøknaden og har finansiert prosjektet sammen med egeninnsats fra de deltagende bedriftene og økonomisk støtte fra NIVA. Hovedmålet for prosjektet har vært å øke forutsigbarheten og optimalisere driften av marine yngel- og settefiskanlegg gjennom å gi oppdretterne verktøy til å etablere et godt vannmiljø. Prosjektet har fokusert på ulike vannkvalitetstema og kompetanseheving i deltagerbedriftene. Prosjektarbeidet har vært delt inn i fire deler: 1) Et overvåkingsprogram av inntaksvann, etter vannbehandling og i de ulike stadiene av produksjonen (klekkeri, plommesekkstadiet, startfòring (levendefòr), startfòring (tørrfòr) og settefisk). 2) Kurs i prøvetaking og vannanalyse. 3) Individuelle vurderinger av anleggenes drift basert på overvåkingsprogrammet og anonymiserte resultat. 4) Generelle retningslinjer for sikker drift med bakgrunn i overnevnte, utformet som en håndbok i marin yngelproduksjon.

Overvåkingsprogrammet ble gjennomført på tre prøvepunkter: inntaksvann (råvann), etter vannbehandling og i avløp kar på hvert enkelt anlegg. Analysene og *in-situ* målingene ble utført for hvert av de ulike stadiene/avdelingene i produksjonen: klekkeri, plommesekkstadium, startfòring (levendefòr), startfòring (tørrfòr) og settefisk. For hvert stadium ble det gjennomført to prøveinnsamlinger (start og

slutt) og antall prøveparameter varierte i henhold til stadium. Overvåkingsprogrammet ble designet for å avdekke sesongvariasjoner, variasjoner i og mellom de ulike stadiene og begrensede faktorer knyttet til driften. Samlet sett viser vannkvalitetsresultatene fra overvåkingsprogrammet relativt stabile konsentrasjoner av de målte parameterne. Vannkvaliteten og mengden avfallsprodukter varierer naturlig i henhold til stadium, larve- og fiskestørrelse og rensiltak. Selv om enkelte parametere varierte noe i løpet av overvåkingsperiodene var vannkvaliteten jevnt over god for alle anleggene. Samtidig indikerer enkelte av resultatene fra inntaksvannet nokså store sesongvariasjoner og geografiske forskjeller som påvirkes av inntaksdyp og fjordsystem. Hovedfunnene er oppsummert under:

Det var stort sett liten temperaturvariasjon i inntaksvannet, men grunne inntak gir større variasjon som er utfordrende både for temperaturkontroll/-styring og øvrige vannkvalitetsparametere. Anlegg med flere inntaksdyp kan ta i bruk disse for optimal temperatur/vekst. Det var god temperaturstyring i selve produksjonen.

Partikkelmengden i inntaksvannet varierte i henhold til sesong og resultatene fra vannbehandlingsenhetene viste varierende partikkelfjerning. Sannsynligvis forekom det noe tilførsel av partikler fra rør/vannbehandlingsenheter. Ozoneringstrinnet kan i mange tilfeller optimaliseres for økt partikkelfjerning.

Når det gjelder inaktivisering av bakterier og alger var det variabel effekt av vannbehandlingen og det forekom oppblomstring av bakterier i karvannet med høyere andel opportuniste og dyrkbare bakterier, spesielt i kar med lav vannutskifting. Diversitetsanalysene og sekvenseringsresultatene indikerer en markant forskjell mellom de ulike prøvepunktene og de ulike yngel stadiene. Det ble og påvist slekter med kjente fiskepatogener/opportuniste i karvannet, bl. a. *Vibrio*, *Tenacibaculum* og *Pseudomonas*, og andre slekter i lavt antall: *Streptococcus*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Mycobacterium*, *Photobacterium*, *Francisella* og *Achromobacter*. Disse er sannsynligvis del av et naturlig samfunn men kan under de rette forholdene øke i antall, med mulige konsekvenser for fiskehelsen. Desinfiseringstrinnet (evt. flere) bør styres bedre, både dosering iht. vannkvalitet og dannelse av restprodukter ved medium-trykks UV (MPUV) og ozonering (ikke for høy dose). Ozonering bidrar hovedsakelig til økt partikkelfjerning (inkl. bakterieaggregat).

Det ble målt varierende oksygenmetning i karene (bl. a. O₂-skyer) som med fordel kan holdes mer stabil og i noen tilfeller justeres ned. Flere anlegg kan vurdere alternativ innløsningssteknologi.

Totalt gasstrykk (TGP) var stort sett under 100 %, men enkelte tilfeller med forhøyede verdier ble observert i påvekstfasen. TGP bør ikke være over 100 % og overmetning av oksygen bør ikke forekomme.

Konsentrasjonene av løst karbondioksid i karvannet var jevnt over lave og i de aller fleste tilfellene ikke begrensede for produksjonen.

Konsentrasjonen av nitrogenforbindelser var også jevnt over lave i karvannet og ikke begrensede for produksjonen.

Konsentrasjonen av metaller (Al, Cu, Zn og Fe) i de ulike prøvepunktene viste til dels stor variasjon mellom anleggene og over tid i produksjonssyklusen. Det forekom noen tilfeller med forhøyede Al (vann og gjeller), Cu (gjeller) og Zn (vann og gjeller) verdier.

Anleggsmålinger og -analyser viser noe avvik i forhold til lab-målinger (pH – overestimering, CO₂ – underestimering, men relativt gode ammonium målinger).

De rapporterte driftsdataene indikerer lavest overlevelse i stadiet med levendefôr, men også relativ lav klekkeprosent. I de senere stadiene er det generelt god overlevelse, men hvorvidt dette er et resultat av stort frafall/utsortering i de tidligere stadiene, vites ikke sikkert. Uansett kan det se ut som denne delen av produksjonen driftes godt, men det er sannsynligvis mulig å forbedre både vekst og kvalitet med optimaliserte produksjonsbetingelser, spesielt hvis det oppnås økt overlevelse i de tidlige stadiene. Faktorer som avl og rogn/sperm kvalitet, samt startfôring (copepoder og levende versus tørrfôr) har nok størst effekt på overlevelse i de tidlige stadiene og økt innsats på disse områdene vil være avgjørende for fremgang innen marin yngelproduksjon. Resirkulering av vannet i de tidlige stadiene (og i levendefôrproduksjonen) er også en metode som kan bidra i denne sammenhengen. Avlsarbeid bør uansett få økt fokus siden dette også kan bidra til å utsette kjønnsmodning hos hann-kveite og redusere problemene med ujevn vekst i matfiskproduksjonen.

Opplæringsprogrammet har bidratt til generell kompetanseheving ved de enkelte deltagerbedriftene og økt forståelse av vannkvalitet. Deltagerne har fått økt kunnskap om de viktigste begrensende vannkjemiske faktorene for marin fisk, tema knyttet til FoU i egen bedrift og praktisk innblikk i prøvetaking, bruk av håndholdte analyseinstrumenter og protokoller for målinger/analyser.

Det ble foretatt fire **anleggsbefaringer** (torsk, leppefisk og to kveiteanlegg) med deltagelse av anleggspersonell, forskere fra NIVA og en ekstern fagperson. I etterkant av befaringene ble det utarbeidet en rapport med en ”diagnose” på vannmiljø og forslag til forbedringer for hvert anlegg (interne rapporter). Denne kritiske gjennomgangen og diskusjoner underveis har bidratt til økt fokus på vannmiljø og identifisering av «flaskehals» hos den enkelte bedrift.

Resultatene fra overvåkingsprogrammet og anleggsvurderingene, samt erfaringene fra opplæringsprogrammet ble vurdert opp mot relevant vitenskapelig- og «grå» litteratur, og hovedpunktene ble samlet i en egen trykksak «**Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon**» (ISBN 978-82-577-6615-3). Denne håndboken er ment å fungere som et lett tilgjengelig oppslagsverk med konkrete råd og anbefalinger.

Summary

Title: Monitoring and training program related to water quality and fish health in marine juvenile facilities.

Year: 2015

Author: Ole-Kristian Hess-Erga (NIVA), Torill Vik Johannessen (UiB) and Åse Åtland (NIVA).

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6517-0

Fluctuating and unstable production of fry is a well-known problem for many marine fry producers. This limits the development of new marine species and strikes individual farmers hard. Suboptimal operation, fish diseases and poor growth can have serious consequences both in the juvenile stage and in the subsequent grow-out phase. There is generally little scientific literature on production of marine fry although some species has been farmed for a long time. It is important to obtain this kind of experience and knowledge through systematic mapping and sound scientific research. Such documentation and experience must be transferred to the farmers in order to strengthen the development and commercialization of marine species. In this way it is possible to improve decision-making and raise the competence of the individual farmer. Adverse water quality is mentioned frequently as a limiting factor and a source of suboptimal operation.

The above has been the basis for the establishment and implementation of the project "Monitoring and training program related to water quality and fish health in marine juvenile facilities (MarinVest)." The project has consisted of the industry participants Sterling White Halibut (SWH) with farms at Rørvik (Rørv) and Imsland (Imsl), Nordic Halibut (NH) with the farms Norsk Kveite (NK) and Halibut (Hal), Atlantic Cod Farms (ACF) with the farm Atlantic Cod Juveniles (ACJ), Marine Harvest Labrus (MHL), Fjord Gadus (FG), Sande Seafarm Productions (SSP) and Skretting, as well as R & D partners Norwegian Institute for Water Research (NIVA) and the University of Bergen, Department of Biology, section of marine microbiology. "Vestlandsrådet" through "Vestlandsprogrammet for nye oppdrettsarter", approved the project application and financed the project with contributions from the participating companies and financial support from NIVA. The main objective has been to increase the predictability and optimize the operation of marine juvenile facilities by giving farmers the tools to establish a good water environment. The project has focused on various water quality topics and upgrading of skills in the SMEs. The project has been divided into four parts: 1) Monitoring of intake water, after water treatment and in the various stages of production (hatchery, yolk sac stage, first feeding (live feed), start feeding (dry feed) and juveniles). 2) Courses in sampling and water analysis. 3) Individual evaluation of the farms operation based on monitoring and results. 4) General guidelines for safe operation on the basis of the above, designed as a handbook in marine fry production.

The monitoring program was designed to detect seasonal variations, variations within and between the various stages and limiting factors associated with the operation. Overall, the water quality monitoring results indicated relatively stable concentrations of the measured parameters. Water quality and quantity of waste products vary according to the stage, larvae and fish size and the extent of water treatment. Although certain parameters varied somewhat during the monitoring periods, the water quality was generally good for all farms. Meanwhile, some of the results from the inlet water indicated fairly large seasonal variations and geographic differences affected by the intake depth. The main findings are summarized below:

There was mostly small temperature variations in the inlet water, but shallow intake indicated greater variability that is challenging both for temperature control and control of other water quality parameters. The farms had good temperature control in the production.

The amount of particles in the inlet water varied according to season, the extent of water treatment, and in some cases the results indicate additions from pipes / water treatment units. The ozonisation step may be optimized for enhanced particle removal.

Inactivation of bacteria and algae demonstrated variable effect of the water treatment. The results indicated enhanced bacterial growth in fish tanks with higher proportion of opportunists and culturable bacteria, especially in tanks with low water exchange. Bacterial diversity analysis and sequencing results indicate a marked difference between the different sampling points and the different juvenile stages. It was detected bacterial families with known fish pathogens / opportunists in fish tanks, such as *Vibrio*, *Tenacibaculum* and *Pseudomonas*, and other families in low numbers, *Streptococcus*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Mycobacterium*, *Photobacterium*, *Francisella* and *Achromobacter*. These are probably part of a natural community but can under the right conditions increase in number, with possible consequences for fish health. The disinfection step (or several) should be managed better, both dosage according to water quality and the formation of waste products at medium-pressure UV (MPUV) and ozonation (not too high dose). Ozonisation contributes mainly to increased particle removal (incl. bacterial aggregates).

Variable oxygen saturation was measured in the tanks (e.g. O₂ clouds) which advantageously can be kept more stable and in some cases the addition of oxygen can be reduced. Some of the farms may consider alternative oxygen addition technology.

Total gas pressure (TGP) was mostly below 100%, but it was observed some cases with elevated TGP in the on-growing phase. TGP should not be much above 100% even if the supersaturation is caused by high oxygen pressure.

The concentrations of dissolved carbon dioxide in the fish tanks were generally low, and in most cases these levels will not limit production.

The concentration of nitrogen compounds was generally low in the fish tanks and not limiting for the production.

The concentration of metals (Al, Cu, Zn and Fe) in the various sampling points indicated considerable variation between farms and over time in the production cycle. Some cases with elevated Al (water and gills), Cu (gills) and Zn (water and gills) values were observed.

Measurements and analyses performed by the farm staff showed some deviation from the lab measurements (pH - overestimation, CO₂ - underestimation and relatively good ammonium measurements).

The reported operating data indicated the lowest survival in the live feed stage, but also relatively low hatching rates. In the later stages there was generally good survival, but whether this is a result of high mortality / sorting in the early stages, is not known for sure. However, it appears that this part of the production is operated well, but it seems possible to improve growth and quality with optimized production conditions, especially if increased survival in the early stages is achieved. Factors such as breeding and egg / sperm quality, and start feeding (copepods and living versus dry food) has greatest effect on survival in the early stages. Increased efforts in these areas will be crucial for improvement in marine fry production. Recycling of water in the early stages (and in live feed production) is also a method that can help in this context. Breeding should nonetheless receive increased focus since this also can help delay sexual maturation in male halibut and reduce problems with uneven growth in the grow-out production, in addition to increased fry quality.

The training program contributed to increased competence of the individual participating companies and an increased understanding of water quality. Participants have learned more about the important limiting water chemical factors for marine fish, topics related to R & D in the company and practical insight into sampling, use of hand-held analytical instruments and protocols for measurements / analysis.

Four **farm inspections** were conducted (cod, wrasse and two halibut farms), with the participation of farm personnel, researchers from NIVA and an external expert. Following the site visits, a report was drawn up, with a "diagnosis" of the water environment and improvement proposals for each farm (internal reports). This critical review and discussions underway has led to greater focus on water quality and identification of "bottlenecks" in the individual farm productions.

The results of the monitoring program and lessons learned from the training program was assessed against relevant scientific- and "grey" literature, and the main points were collected in a separate publication "**Handbook for water quality in marine fry production**" (ISBN 978-82-577-6615-3). This guide is intended to serve as an easily accessible reference work with specific advice and recommendations.

1. Innledning

Variierende og ustabil produksjon av yngel er et velkjent problem for mange marine yngelprodusenter. Dette hemmer utviklingen av nye marine arter og rammer enkeltoppdrettere hardt. Suboptimal drift, sykdom og dårlig vekst kan få alvorlige konsekvenser både i yngelfasen og i de påfølgende fasene (settefisk og matfisk). Det finnes generelt lite vitenskapelig litteratur om marin yngelproduksjon selv om det har vært drevet oppdrett av enkelte arter i lang tid. Det er viktig å opparbeide seg denne type erfaring og kunnskap gjennom systematisk kartlegging og gode vitenskapelige undersøkelser. Slik dokumentasjon og erfaring må overføres til oppdretterne for å styrke utviklingen og kommersialiseringen av marine arter. På denne måten er det mulig å forbedre beslutningsgrunnlaget og heve kompetansen for den enkelte oppdretter. Ugunstig vannkvalitet nevnes hyppig som en begrensende faktor og en kilde til suboptimal drift.

NIVA har siden 1999 ledet de såkalte VK (vannkvalitets)-undersøkelsene hvor det ble gjennomført årlige undersøkelser av vannkvaliteten i norske settefiskanlegg for laks. Denne databasen omfatter pr. i dag over 80 % av alle vannkilder som benyttes til smoltproduksjon i Norge. I en internasjonal sammenheng er denne databasen unik. Den omfattende industrideltagelsen i VK-prosjektet har bidratt til viktig kompetanseheving for næringen gjennom årlige fellessamlinger. Boken ”Vannkvalitet og smoltproduksjon” som kom ut i 2007 sammenfatter erfaringene (Bjerknes 2007). Resultatene er ikke bare formidlet gjennom denne boken men har også dannet grunnlaget for vitenskapelige publikasjoner (se bl.a. Kristensen et al. 2009) og rapporter (Rosten et al. 2007). Vi så klart et lignende behov innen marin yngelproduksjon hvor vannkvaliteten i liten grad er dokumentert og kunnskapsbehovet innen overvåking var stort. En slik systematisk kartlegging og kompetanseheving vil kunne identifisere kritiske nøkkelparametere og muliggjøre korreksjon på et tidlig stadium og på den måten optimalisere driften.

1.1 Prosjektmål

Overordnet mål (effektmål):

Hovedmålet for prosjektet var å øke forutsigbarheten og optimalisere driften av marine yngel- og settefiskanlegg gjennom å gi oppdretterne verktøy til å etablere et godt vannmiljø. Vannkvalitet er et komplisert fagfelt, og sammenhengene mellom ulike parametere er sammensatte. Suboptimal vannkvalitet kan forårsake akutt dødelighet, men av langt større økonomisk og velferdsmessig betydning, er det at fisk som lever i et dårlig vannmiljø er langt mer utsatt for sykdom og andre stressfaktorer. Prosjektets bidrag til å tette dette kunnskapshullet vil over tid føre til mer stabil drift, bedret fiskevelferd og økt inntjening for den enkelte bedrift.

Gjennom at de deltakende anleggene fikk en full gjennomgang og full ”diagnose” på sitt vannmiljø fikk de et grunnlag for å sette inn relevante og kostnadseffektive tiltak. Dokumentasjonen i prosjektperioden ga dem også muligheten til å måle effekten av disse tiltakene på viktige driftsparametre som bl.a. dødelighet og vekst.

Produktmål:

Prosjektet skal levere et kurs ved oppstart, årlige samlinger samt anlegsspesifikke statusrapporter med en ”diagnose” på vannmiljø og forslag til forbedringer på hvert enkelt deltakende anlegg. I tillegg skal det samles og analyseres dokumentasjon fra samtlige anlegg. Denne analysen vil munne ut i en håndbok i vannmiljø for marin yngel- og settefiskproduksjon med konkrete råd og anbefalinger.

1.2 Rammer, omfang og avgrensing

NIVA og Skretting har samarbeidet med marine klekkeri og yngelprodusenter for å kartlegge vannkvalitet, heve kompetansen innen vannkvalitet og identifisere begrensende faktorer i produksjonen. Dette prosjektet har gitt de deltakende bedriftene tilgang til:

- 1) Et overvåkingsprogram av inntaksvann, etter vannbehandling og i de ulike stadiene av produksjonen (klekkeri, plommesekkstadiet, startfôring (levende), startfôring (tørrfôr) og settefisk).
- 2) Kurs i prøvetaking og vannanalyse (inkludert analyseapparat).
- 3) Mottatt individuelle vurderinger av egen drift basert på overvåkingsprogrammet og anonymiserte resultat.
- 4) Mottatt generelle retningslinjer for sikker drift med bakgrunn i overnevnte, utformet som en håndbok i marin yngelproduksjon.

2. Prosjektdesign og metoder

Totalt deltok seks marine yngelprodusenter med artene atlantisk kveite, leppefisk og torsk i prosjektet. Anlegget Marine Harves Labrus (MHL) på Rong i Øygarden kommune ved driftsleder Henning Sandøy deltok med hele produksjonssyklusen av leppefisk. Atlantic Cod Farms (ACF) deltok med anlegget Atlantic Cod Juveniles (ACJ) på Sandbakken Brygge i Rissa kommune ved driftsleder Lars Jørgen Ulvan, som klekket torskeyngel og fôret dem opp til settefisk. Denne settefisken ble så transportert til Fjord Gadus (FG) påvekstanlegg på Sigghaug i Vanylven kommune ved driftsleder Frode Sjørdal. Nordic Halibut (NH) deltok med anlegget Norsk Kveite (NK) på Fromeide i Askøy kommune ved driftsleder Tommy Bjerke, som klekker kveiteyngel og fôrer dem opp før de blir transportert til påvekstanlegget Halibut (Hal) på Henda i Averøy kommune ved driftsleder Edvard Henden. Sterling White Halibut (SWH) deltok med anlegget i Rørvik i Vikna kommune ved driftsleder Walter Olsen-Ryum, som klekker kveiteyngel og fôrer dem opp før de transporteres til påvekstanlegget på Imsland (Imsl) i Hjelmeland kommune ved driftsleder Ole Johan Østebø. Sande Seafarm Production (SSP) på Gjerdsvika i Sande kommune ved driftsleder Leif-Ole Stokseth, klekker kveiteyngel og fôrer dem opp til settefisk. To av de deltagende bedriftene er representert med separate yngelanlegg og landbaserte påvekstanlegg (NH – Hal og SWH – Imsl), to har hele produksjonssyklusen (MHL og SSP) og to har enten yngelanlegg (ACJ) eller påvekstanlegg (FG).

Prosjektet ble delt inn i fire arbeidspakker (AP) med en ansvarlig leder for hver av dem. AP 1: Overvåkingsprogram – ledet av Ole-Kristian Hess-Erga. AP 2: Opplæringsprogram – ledet av Erlend Waatevik (teknisk) og Åse Åtland (fag). AP 3: Individuelle anleggsvurderinger – ledet av Ole-Kristian Hess-Erga. AP 4: Utarbeide en håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon – ledet av Åse Åtland. Formålet med prosjektet var å øke forutsigbarheten og optimalisere driften av marine yngel- og settefiskanlegg gjennom å gi oppdretterne verktøy til å etablere et godt vannmiljø.

2.1 Overvåkingsprogram

Overvåking av vannkvalitet ble gjennomført på tre prøvepunkter: inntaksvann (råvann), etter vannbehandling (EVB) og i avløp kar på hvert enkelt anlegg. Analysene og in-situ målingene ble utført for hvert av de ulike stadiene/avdelingene i produksjonen: klekkeri, plommesekkstadium, startfôring (levendefôr), startfôring (tørrfôr) og settefisk. For hvert stadium ble det gjennomført to prøveinnsamlinger (start og slutt) og antall prøveparametere varierte i henhold til stadium (pkt. 2.1.1). Overvåkingsprogrammet ble designet for å avdekke sesongvariasjoner, variasjoner i og mellom de ulike stadiene og begrensede faktorer knyttet til driften. De deltagende anleggene tok vannprøver både for analyse hos NIVA-lab og for analyse på stedet, samt at det ble registrert ulike driftsparametere (pkt. 2.1.1). Anleggene deltok i ulik grad og tre av anleggene hadde kun påvekstfasen.

Tabell 1. Anleggs- og produksjonsoversikt Sterling White Halibut (SWH) avdeling Rørvik (Rørv) og Imsland (Imsl).

SWH-Rørv/Imsl	Stadium 1 (klekkeri + plommesekk)	Stadium 2 (startfôring)	Stadium 3 (startfôring og artemia)	Stadium 4 (weaning-tørrfôr)	Stadium 5 (påvekst-Imsland)
Tidsperiode (måned)	Hele året	Hele året	Hele året	Hele året	Hele året
Ca. ant. dager	50	50			
Ca størrelse (mm/gr)	/	/-0,12	/0,17-	/0,25-10	5 -
Kartype	Inkubator/silo	Startfôringskar	Startfôring/artemia	Yngelkar	Påvekstkar
Karvolum (l)/-dyp (cm)	500 og 4500/100	7000/100	2500 og 7000/40 og 100	2500/40	
Lysforhold	Mørke	550 lux/døgnvariasjon?	550/2000 lux	400 lux	
Inntaksvann	150 m	150 m	150 m/55 m	55 m	Blanding av 20 + 70 m
Vannbehandling	Sandfilter (ca 10µm), skimmer + ozon + UV + lufting + kjøling/oppvarming	Sandfilter (ca 10µm), skimmer + ozon + UV + lufting + kjøling/oppvarming	Sandfilter (ca 10µm), skimmer + ozon + UV + lufting + kjøling/oppvarming	Skimmer + ozon + oppvarming + lufting	Nei

Tabell 2. Anleggs- og produksjonsoversikt Nordic Halibut (NH), avdeling Norsk Kveite (NK) og Halibut (Hal). Inntaksdyp på 70 m ved NH-NK og 42 m ved NH-Hal.

NH-NK/Hal	Stadium 1 (klekkeri)	Stadium 2 (startfôring)	Stadium 3 (weaning)	Stadium 4 (tørrfôr)	Stadium 5 (Hal)
Tidsperiode (måned)	Hele året	Hele året	Hele året	Hele året	Hele året
Ca. ant. dager	45	50	30	120	
Ca størrelse (mm/gr)	6-13 mm	13-25 mm	0,1 -1,0 gr	1,0 – 15 gr	7,2 -28 gr
Kartype	Silo, ø=1,5m	Startfôringskar, ø=3m	Weaningkar, ø=1,5m	Påvekstkar, ø=3m	Påvekstkar m/hyller, ø=3m
Karvolum (l)/-dyp (cm)	6000/400	7000/100	125/7	4000/60	9000/120
Lysforhold	Mørkt	Kont lys	Kont lys	Kont lys	Kont lys, 50 lux
Vannbehandling runde 1	Prot.skimm m/ozon, 20µ filter, UV (140 W/cm ²), kjøling, 5µ sandfilter, vakuumlufing	Prot.skimm m/ozon, 20µ filter, UV (140 W/cm ²), oppvarming, vakuumlufing	Prot.skimm m/ozon, 20µ filter, UV (140 W/cm ²), oppvarming, vakuumlufing	Prot.skimm m/ozon, 20µ filter, UV (140 W/cm ²), oppvarming, vakuumlufing	Ubehandlet, noe med UV, noe med fullstendig sterilisering
Vannbehandling runde 2	Sandfilter (10µm), UV (140 W/cm ²), proteinskimmer m/ozon, kjøling, vakuumlufing	Sandfilter (10µm), UVx2 (140 W/cm ²), proteinskimmer m/ozon, oppvarming, vakuumlufing	Sandfilter (10µm), UV (140 W/cm ²), proteinskimmer m/ozon, oppvarming, vakuumlufing	Sandfilter (10µm), UV (140 W/cm ²), proteinskimmer m/ozon, oppvarming, vakuumlufing	Ubehandlet, noe med UV, noe med fullstendig sterilisering

Tabell 3. Anleggs- og produksjonsoversikt Marine Harvest Labrus (MHL). Inntaksdyp på 150 m og et 50 meters inntak i reserve.

MHL	Stadium 1 (klekkeri + plommesekk)	Stadium 2 (levendefôr)	Stadium 3 (weaning)	Stadium 4 (tørrfôr)	Stadium 5 (tørrfôr)
Tidsperiode (måned)	Hele året	Hele året	Hele året	Hele året	Hele året
Ca. ant. dager	10	60	110	150	
Ca størrelse (mm/gr)		16 mm	16 mm/0,05 gr	6,1/11 gr	
Kartype	Inkubator	Startfôringskar	Startfôringskar	Påvekstkar	Påvekstkar
Karvolum (l)/-dyp (cm)	900/95	9000/100	9000/100	25000/140	25000/140
Lysforhold	220 lux i 7t og mørkt	400-1000 lux 24t	400-1000 lux 24t	200-500 lux 24t	200-500 lux 24t
Vannbehandling	Filter (30 µm), Hoved UV (Wedeco BX12) og UV til klekkeri (Berson Inline 450/1000). Varming og lufting.	Filter (30 µm), Hoved UV (Wedeco BX12) og UV til klekkeri (Berson Inline 450/1000). Varming og lufting	Filter (30 µm), Hoved UV (Wedeco BX12) og UV til klekkeri (Berson Inline 450/1000). Varming og lufting	Filter (30 µm), Hoved UV (Wedeco BX12) og UV til klekkeri (Berson Inline 450/1000). Varming og lufting	Filter (30 µm), Hoved UV (Wedeco BX12) og UV til klekkeri (Berson Inline 450/1000). Varming og lufting

Tabell 4. Anleggs- og produksjonsoversikt Atlantic Cod Farms (ACF), avdeling Atlantic Cod Juveniles (ACJ) og påvekstanlegget Fjord Gadus (FG). ACJ bruker levende Clorella som fôr til rotatoriene, døde Pavlova og Isochrysis som anrikning og pasta av Nannochloropsis som grøntvann.

ACJ	Stadium 1 (klekkeri + plommesekk)	Stadium 2 (levendefôr)	Stadium 3 (tørrfôr)	Stadium 5 (påvekst - FG)
Tidsperiode (måned)	Hele året	Hele året	Hele året	Hele året
Ca. ant. dager	10 + 3	25-30	40	120-180
Ca størrelse (mm/g)	1,25-4/	4-7,5/0,0001-0,001	7,5-25/0,7-8,8	/8,8-200
Kartype	Kon bunn	Flat bunn m/rensearm	Flat bunn	Resirk?
Karvolum (l)/-dyp (cm)	270/80	5 000/110	28 000/130	
Lysforhold	Mørke	24 t lys	24 t lys	24 t lys
Inntaksvann	70 m	70 m	110 m	
Vannbehandling	Vakuumbeskyttet, UV 40 W og 1-5µm + skimmer	Vakuumbeskyttet, UV 40 W, Oz 350 og 5µm + skimmer	Vakuumbeskyttet, UV 60 W og 100µm	Filtrering 40µm + UV

2.1.1 Analyser og målinger

Personell ved anleggene tok ut alle prøvene, opparbeidet dem, sendte dem inn for analyse, foretok manuelle målinger av relevante vannparametre og analyserte for nitrogenforbindelser, samt registrert ulike driftsparametre ved hvert prøveuttak (Tabell 5). De innsendte vannprøvene ble analysert av NIVA-lab (Tabell 6), avdeling for marin mikrobiologi ved UiB (bakteriesammensetning), ved NIVA Vestlandsavdelingen (analyser av bakterier, alger og partikulært stoff) og gjelleprøvene ble analysert (metaller) ved Isotoplaboratoriet på NMBU etter gjeldende prosedyrer.

Tabell 5: Målinger, registreringer og forbehandling utført av anleggene. Parameter merket med * ble analysert av NIVA, UiB eller NMBU.

Parameter	Enhet	Metode/utstyr
Temperatur	°C	Forskjellige målere
pH	-log [H ⁺]	Forskjellige målere
Saltholdighet	ppt	Forskjellige målere
Løst oksygen (O ₂)	%	Forskjellige målere
Løst karbondioksid (CO ₂)	mg/l	OxyGuard
Totalt gasstrykk (TGP)	%	Point 4 Tracker
Ammonium	mg N/l	Spectroquant, metode 14558
Nitritt	mg N/l	Spectroquant, metode 14547
Nitrat	mg N/l	Spectroquant, metode 14556
Vannprøve (TSS) *	mg/l	1 liter, filtrert på GF/C, skylt med dest H ₂ O, tørket, veiet (NS 4733)
Vannprøve (Generell VK) *		0,5 liter ufiksert, NIVA-lab (ICP-MS/AES)
Vannprøve (TAN) *	mg N/l	100 ml fiksert med H ₂ SO ₄ (NS 4746)
Vannprøve (CO ₂) *	mg/l	NIVA metode med bioblock
Dyrbare bakterier (CFU) *	celler/ml	Fortynning med sterilt sjøvann, 3M Petrifilm aerobic, telling
Totaltelling bakterier *	celler/ml	Fiksering 0,2% glutaraldehyd, SYBR Green I, flow cytometri
Alger *	celler/ml	Fiksering nøytral Lugol, mikroskopi
Bakterielt DNA ekstrakt *		20 ml vannprøve på DynaGuard filter, DNA ekstraksjon (Qiagen, Dneasy Blood & Tissue), PCR, DGGE, ARISA, sekvensering
Partikkeltelling *	partikler/ml	Fiksering nøytral Lugol, Coulter Counter Multiziser II
Gjelleprøver *	µg/g DW	Andre gjellebue på høyre side, frysetørket, syreoppløst, ICP-OES
Produksjonsdata		Antall, vekt, før, vannforbruk, karsystem, vannbehandling og lysforhold

Tabell 6: Kjemiske analyser utført ved NIVA-lab.

Parameter	Enhet	Metode	Måleområde	Måleusikkerhet
pH	-log [H ⁺]	NS 4720	1-12	0,20
Alkalitet	mmol/l	NS-EN ISO 9963-1	> 0,03	20 %
Salinitet	PSU	Intern*	0,005 - 0,025/0,025 - 42	0,005/20 %
Turbiditet	FNU	NS-EN ISO 7027	0,05 - 0,50/0,50-100	0,05/10 %
Totalt ammonium nitrogen (TAN)	mg N/l	NS 4746	0,005 - 0,025/0,025 - 0,5	0,005/20 %
Nitritt + nitrat (NO ₂ + NO ₃)	mg N/l	NS 4745	0,001 - 0,005/0,005 - 0,5/0,5 - 1,2	0,001/20 %/10 %
Totalt organisk karbon (TOC)	mg C/l	NS ISO 8245	0,2 - 1,0/1,0 - 20	0,2/20 %
Karbondioksid (CO ₂)	mg C/l	Intern *	0,1 - 0,5/0,5 - 20	0,1/20 %
Aluminium (Al)	mg/l	ICP-AES	0,005 - 0,025/0,025 - 2500	0,005/20 %
Kobber (Cu)	mg/l	ICP-AES	0,002 - 0,01/0,01 - 1000	0,002/20 %
Jern (Fe)	mg/l	ICP-AES	0,001 - 0,005/0,005 - 2500	0,001/20 %
Sink (Zn)	mg/l	ICP-AES	0,0015 - 0,0075/0,0075 - 700	0,0015/20 %
Kadmium (Cd)	mg/l	ICP-AES	0,001 - 0,005/0,005 - 20	0,001/20 %

Bakteriesammensetning

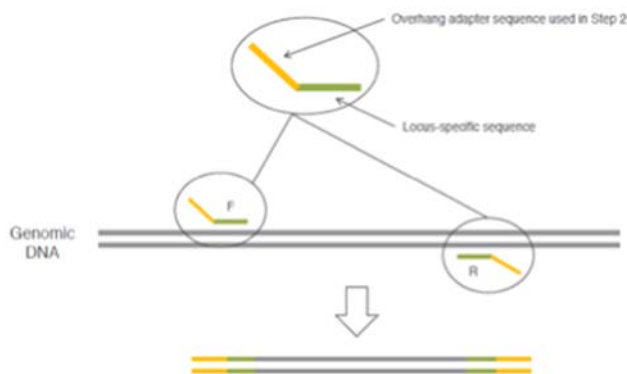
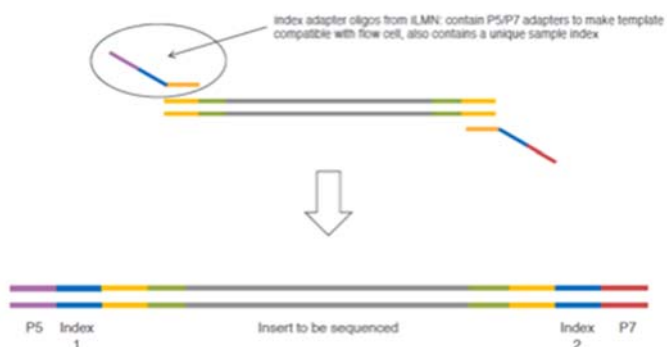
To ulike metoder ble benyttet for å studere bakteriesammensetningen i de oppkonsentrerte bakterieprøvene. Den ene metoden; Automated Ribosomal Intergenic Spacer Analysis (ARISA) ble benyttet til diversitetsanalyse av bakterier (prøvens «fingeravtrykk») og til å sammenligne et stort antall prøver. Den andre metoden; masse-sekvensering ble benyttet for å få et mer detaljert bilde av bakteriesammensetningene gjennom taksonomisk klassifisering.

ARISA

Bakteriesammensetningen i alle prøvene ble analysert ved hjelp av Polymerase Chain Reaction (PCR) mot Intergenic Transcribed Spacer (ITS) regionen i bakteriegenomet og fragmentene ble deretter analysert med ARISA (Cardinale, Brusetti et al 2004). ARISA resultatene ble så analysert med PeakScanner, R og Primer6. En fragmentstørrelse (± 1 bp) ble regnet som en Operational Taxonomic Unit (OTU). Metoden registrerer størrelses-forskjeller i ITS regionen hos bakterier, en hypervariabel del av genomet. Metoden er svært sensitiv og kan differensiere bakterier på arts- eller stammenivå, men metoden gir ingen informasjon om hvilken bakterie hvert fragment kommer fra. ARISA resultatene ble undersøkt med to statistiske metoder 1) på bakgrunn av hvilke OTUer som var til stede (Jaccard) og 2) på bakgrunn av relativ utbredelse (peak-size) av hver OTU (Bray-Curtis) i prøvene. De statistiske metodene gav sammenlignbare resultater.

Masse-sekvensering

I tillegg ble 12 prøver valgt ut for masse-sekvensering av 16S rDNA ved Illumina-sekvensering (også kalt «high throughput sequencing» eller «next generation sequencing»). DNA ekstrahert fra 20 ml vann ble brukt som templat i to påfølgende PCR-reaksjoner (nested PCR) (Figur 1). Den første PCR-reaksjonen kopierer V4 regionen i 16S rDNA i bakterier og arker (posisjon 519-806) med følgende primere; forover: CTACACTCTTTCCTACACGACGCTCTTCGATCTNNNNN-CAGCMGCCGCGGTAA, revers: GTGACTGGAGTTCAGACGTGTGCTCTTCCGATCTGGACTACHVGGGTWTCTAAT. I tillegg til en sekvens som motsvarer en konserverert region i bakterier og arker, har disse primerne en Illumina adapter og 5N-er. Den andre PCR-en bruker primere som er spesifikke mot adaptoren i første PCR, og har i tillegg en unik sekvens (barcode) som er spesifikk for hver prøve.

Step 1: PCR to amplify regions of interest**Step 2: 2nd round of PCR to add Illumina indices and sequencing adapters**

Figur 1. Figurene illustrerer de to PCR-stegene (figuren er hentet fra: <http://web.uri.edu/gsc/next-generation-sequencing/>).

PCR-produktene ble rensert og de 12 prøvene ble blandet i likt forhold, til sammen 500 ng DNA, og sendt til Illumina nextera MiSeq v2 sekvensering. Sekvensering og sortering av sekvensene ble utført av Microsynth AG (Balgach, Sveits). Sekvensene ble satt sammen og en første kvalitetskontroll ble også utført av sekvenseringsfirmaet. Deretter ble sekvensene kvalitetskontrollert (trim.seqs) i mothur (www.mothur.org). Sekvensene ble klassifisert ved hjelp av verktøyet «classifier» i RDP pipeline (<https://pyro.cme.msu.edu/index.jsp>). Statistiske analyse ble utført i programmet Primer6.

2.2 Opplæringsprogram

Det ble arrangert et 3 dagers kurs med fokus på teoretisk vannkjemi, praktisk prøvetaking og analyser ved oppstart av prosjektet. Kurset omfattet en teoretisk del som tok for seg de viktigste begrensende vannkjemiske faktorene for marin fisk, og hvordan sammenhengen er mellom disse. Det ble også gitt praktisk opplæring knyttet til prøvetaking, bruk av håndholdte analyseinstrumenter og gjennomgang av protokoller for målinger/analyser som ble utført på anleggene. Ved slutten av hvert år, når dataene og

registreringene var ferdig analysert ble det arrangert en samling hvor resultatene ble gjennomgått og sett i sammenheng med innholdet i kurset som ble gitt ved prosjektstart.

2.3 Individuelle anleggsvurderinger

Basert på innsendte og registrerte data ble det gjennomført en befaring av anleggene. Personell fra hvert anlegg, forskere fra NIVA og en ekstern fagperson deltok på befaringen. I etterkant ble det utarbeidet en rapport med en ”diagnose” på vannmiljø og forslag til forbedringer for hvert anlegg (interne rapporter).

2.4 Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon

All tilgjengelig dokumentasjon fra samtlige anlegg ble analyser og vurdert opp mot relevant vitenskapelig og «grå» litteratur. Hovedpunktene ble samlet i en «Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon» med konkrete råd og anbefalinger.

3. Resultat og diskusjon

Resultatene fra prosjektet presenteres i henhold til arbeidspakkene og for overvåkingsprogrammet presenteres analyse- og måleresultatene fra alle anleggene samlet og i henhold til parameterens karakteristik eller det aktuelle anlegget. Der det er avvik diskuteres mulige årsaker opp mot driftsparametre og tekniske løsninger for hvert enkelt anlegg.

3.1 Overvåkingsprogram

Anleggene har deltatt i ulikt omfang på grunn av de utfordringene næringen har stått og står overfor. For noen av deltagerne har det vært økonomiske utfordringer og ikke nødvendigvis biologiske utfordringer i denne 4-års periode som har forårsaket lav deltagelse. Andre deltagere har hatt fremgang i produksjonen, men har nok fremdeles utfordringer med å få til stabil og jevn produksjon.

Samlet sett viser vannkvalitetsresultatene relativt stabile konsentrasjoner av de målte parameterne. Vannkvaliteten og mengden avfallsprodukter varierer naturlig i henhold til stadium, larve- og fiskestørrelse og rens tiltak. Selv om enkelte parametre varierte noe i løpet av overvåkingsperiodene var vannkvaliteten jevnt over god for alle anleggene. Samtidig indikerer enkelte av resultatene fra inntaksvannet nokså store sesongvariasjoner og geografiske forskjeller som påvirkes av inntaksdyp og fjordsystem.

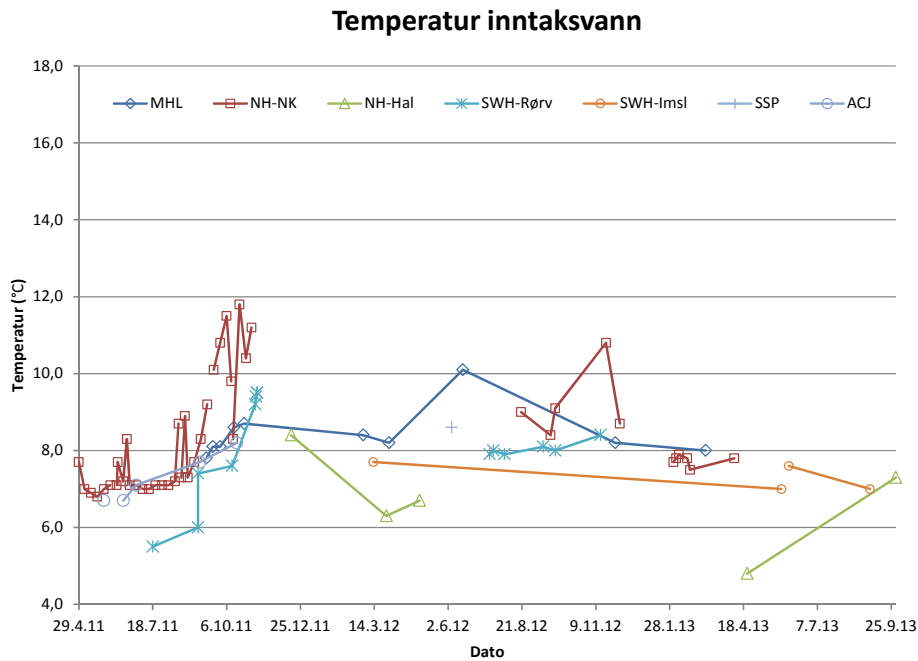
3.1.1 Fysiokjemiske parametre

Temperatur, pH og gasser

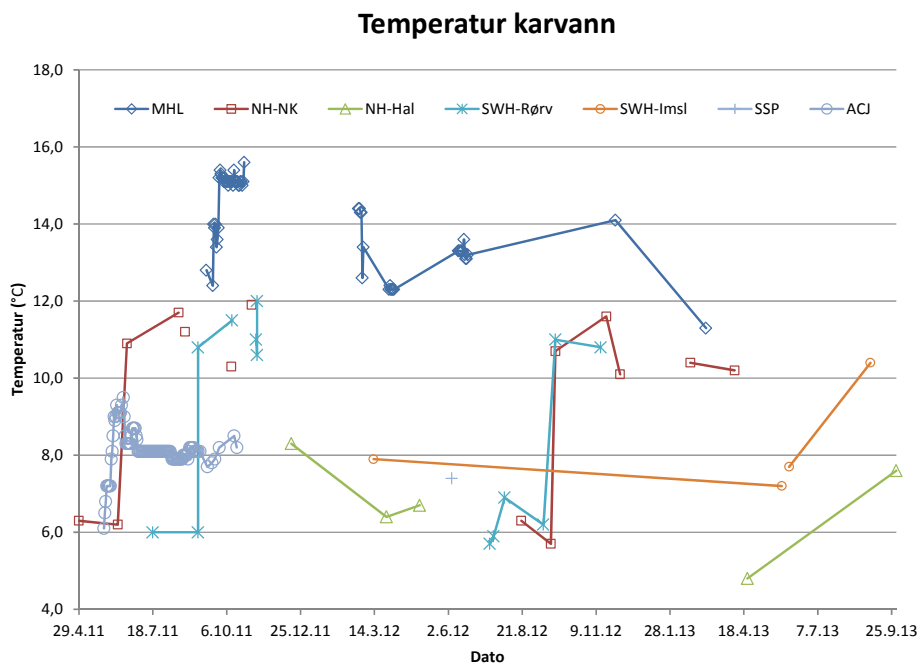
Temperaturmålingene i inntaksvannet viser relativt stabile temperaturer for de fleste anleggene (Figur 2). Resultatene fra NH-NK, NH-Hal, ACJ og muligens SWH-Rørv viser noe årstidsvariasjon. Uansett viser temperaturmålingene i karvannet god temperaturstyring for de anleggene som har det (Figur 3).

pH-målingene (lab) av inntaksvannet viser størst variasjon for de samme anleggene som har stor temperaturvariasjon (Figur 4). Dette er i de fleste tilfellene sammenfallende med grunnere inntaksdyp. Mest mulig stabil temperatur og pH er ofte ønskelig da dette vil redusere belastningen på enkelte vannbehandlingstrinn og samtidig er stabil vannkvalitet ofte sammenfallende med stabil temperatur og pH. Likevel kan det være fordelaktig å utnytte gunstige temperatursjikt og tilpasse inntaksdypet (f.eks. 2 inntaksdyp) til produksjonssyklusen og sesong. På denne måten vil fisken kunne få en optimal temperatur uten behov for særlig oppvarming eller kjøling av vannet. For øvrig kan det nevnes at oksygenmetningen i inntaksvannet varierte mellom 80 og 100 % (resultatene ikke vist), noe som sannsynligvis er forårsaket av suboptimalt prøveuttak for løste gasser (tapping fra kraner under trykk). Prøver fra anlegg med

inntakskum (representative) indikerer verdier rundt 80 %, uten at dette har betydning for oksygenmetningen i karvannet siden anleggene både lufter inntaksvannet og tilsetter oksygen i karvannet.



Figur 2. Temperatur i inntaksvannet ved de ulike anleggene i løpet av overvåkingsperioden. Brudd i linjene indikerer skifte fra runde 1 til runde 2 av overvåkingsprogrammet eller manglende data.

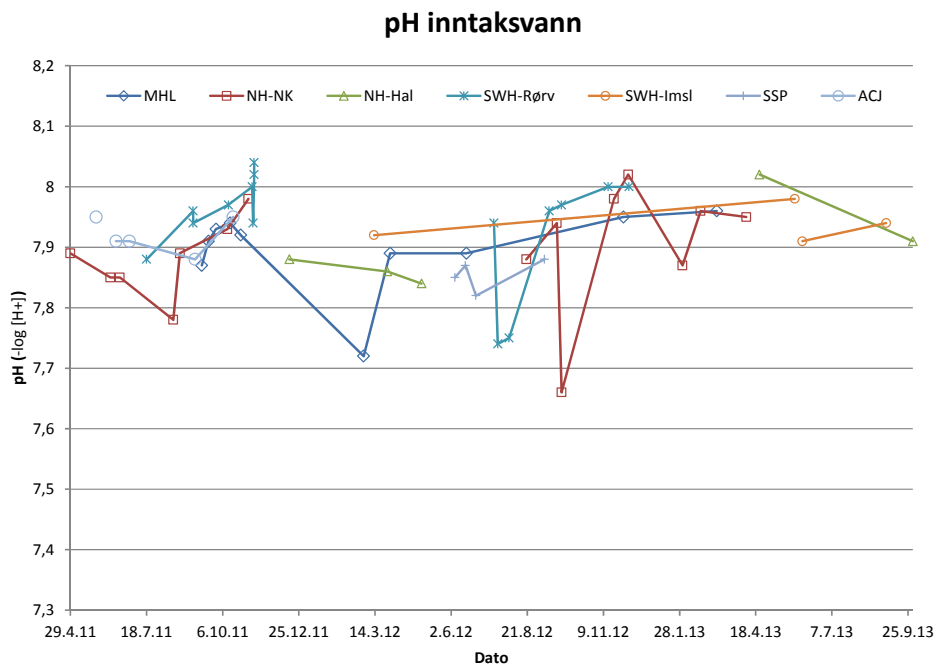


Figur 3. Temperatur i karvannet ved de ulike anleggene i løpet av overvåkingsperioden. Brudd i linjene indikerer skifte fra runde 1 til runde 2 av overvåkingsprogrammet eller manglende data.

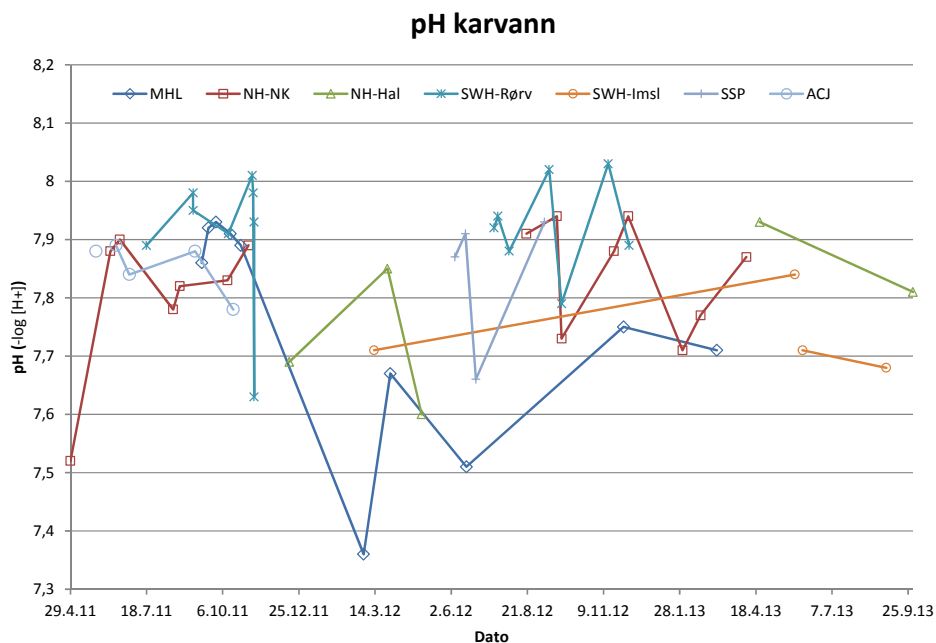
I karvannet varierer pH naturlig i forhold til tetthet, fôring og vannutskiftning, hvor pH-droppet i karvannet øker utover i produksjonssyklusen (Figur 5). I de fleste tilfeller og anlegg tilsvarer pH-droppet 0,1-0,2 pH enheter som samsvarer godt med lave CO₂-verdier (Figur 7). MHL skiller seg ut med større pH-dropp og høyere CO₂-verdier, noe som kan være ugunstig for fisken. Hvilke grenseverdier som er riktig å bruke for de representerte artene vites ikke, men hvis man legger undersøkelser for laksesmolt til grunn, kan de høyeste registrerte verdiene skape problemer også for marine fiskearter (Bjerknes et al. 2007). En studie med torskeyngel (11-30 g) fra 2006 viste vekstreduksjon ved de høyeste tetthetene med CO₂-konsentrasjoner opp mot 12 mg/l (Foss et al. 2006) – dette tyder på at for denne arten ligger grensene i samme område som for laksefisk. Det antas at hyppige og brå svingninger vil være mer problematisk enn en gradvis økning i CO₂-konsentrasjonen, og når høy CO₂-konsentrasjon forekommer i kombinasjon med andre stressorer. Anleggene bruker forskjellige metoder for oksygeninnløsning uten at det nødvendigvis har noe å si for oksygenmålingene i karavløpet, men fordelingen internt i karet kan i stor grad påvirkes av innløsningsmetode. De fleste oksygenmålingene indikerer verdier mellom 80 og 100 % metning, noe som er innenfor Mattilsynets retningslinjer. Enkelte anlegg (MHL, ACJ, NH-Hal og SWH-Imsl) har i perioder lagt godt over 100 % metning i karavløpet og i tillegg er det observert oksygenskyer i enkelte kar. Slike høye verdier anbefales ikke og kan være skadelig for fisken. Forhøyet totalt gasstrykk (TGP) er en faktor som i enkelte tilfeller har ført til høy dødelighet, både for lakseyngel og marine fisk. I slike tilfeller er det ofte utstyr som har sviktet, men det er også rapportert hendelser hvor kronisk svak overmetning har ført til utgang av fisk. De aller fleste deltagerne gjennomfører vakuumløfting av vannet før innløp til kar og på denne måten reduseres risikoen for et forhøyet TGP. Resultatene viser få tilfeller med overmetning, men for to av påvekstanleggene (NH-Hal og SWH-Imsl) kan dette se ut til å være et problem i karvannet. En svak overmetning kan føre til gassbobler i fisken og spesielt for kveite er det rapportert skadelig bobledannelse i og rundt øynene ved forhøyet oksygenmetning (TGP er da ofte > 100 %) i karvannet (Remø et al. 2011). Det kan derfor se ut som karvannet ikke bør ha et TGP over 100 % selv om overmetningen forårsakes av høye oksygenverdier. For å unngå dette bør TGP måles jevnlig både før og i fiskekarene, samt at oksygeneringen holdes på et nivå som ikke forårsaker et forhøyet TGP i fiskekarene. De fleste anleggene har en rekke punkter med trykkøkning og i noen tilfeller trykkeses også utløpet fra vakuumlufterne (naturlig fall av vann med luftbobler), noe som illustrerer viktigheten av jevnlig kontroll.

Forskjell mellom lab-målinger og egne målinger er nokså vanlig og skyldes ofte avvikende kalibrering og manglende automatisk temperaturkorrigering. Hvis vi sammenlikner anleggenes pH målinger med laboratoriets ser vi at differansen varierer nokså mye mellom anleggene (Tabell 12). I snitt overestimerer de fleste instrumentene og NH-NK/Hal har instrumenter som avviker mest (ca. 0,2 pH enheter). Slike forskjeller kan få betydning hvis man ønsker å beregne ammoniakkonsentrasjon og CO₂-konsentrasjon. Det ble tatt relativt få anleggsmålinger av CO₂ (OxyGuard), men både disse og forsøk som NIVA har

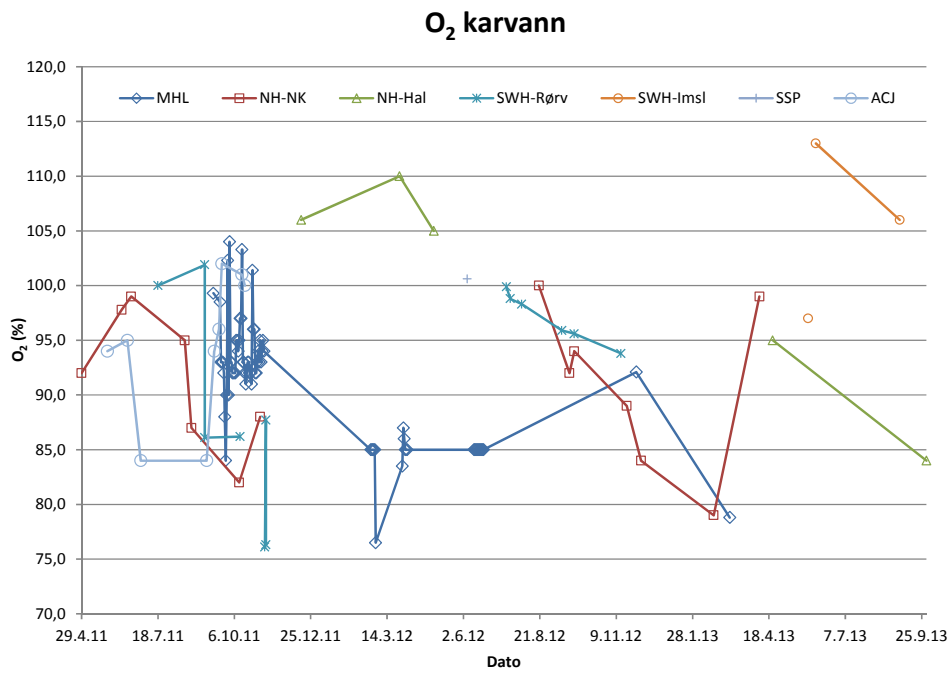
gjort tidligere indikerer en underestimert som stiger med økende konsentrasjon. Derfor er det viktig å vite om denne forskjellen hvis man utelukkende bruker OxyGuard til slike målinger.



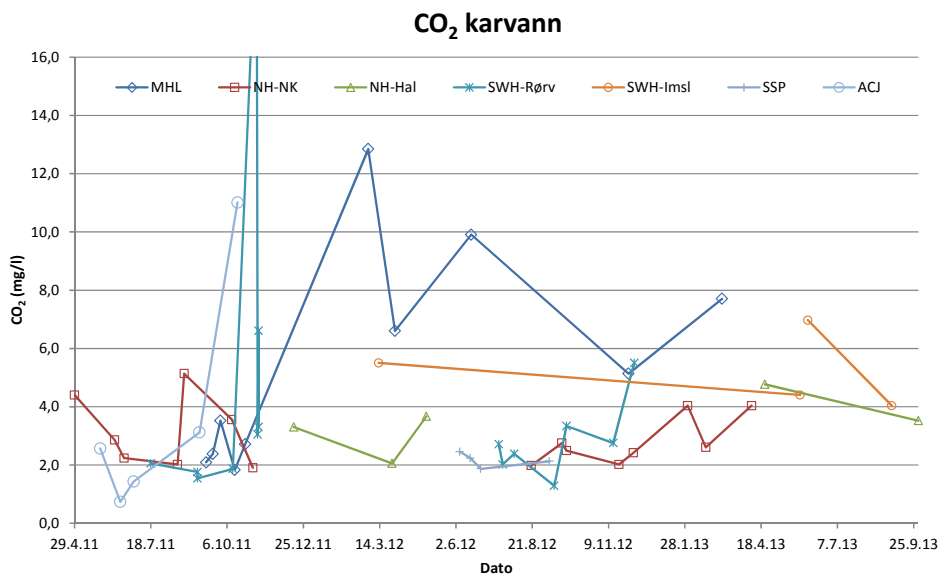
Figur 4. pH i inntaksvannet ved de ulike anleggene i løpet av overvåkingsperioden. Brudd i linjene indikerer skifte fra runde 1 til runde 2 av overvåkingsprogrammet eller manglende data.



Figur 5. pH i karvannet ved de ulike anleggene i løpet av overvåkingsperioden. Brudd i linjene indikerer skifte fra runde 1 til runde 2 av overvåkingsprogrammet eller manglende data.



Figur 6. Oksygenmetning i karvannet ved de ulike anleggene i løpet av overvåkingsperioden. Brudd i linjene indikerer skifte fra runde 1 til runde 2 av overvåkingsprogrammet eller manglende data.



Figur 7. Løst karbondioksid i karvannet ved de ulike anleggene i løpet av overvåkingsperioden. Brudd i linjene indikerer skifte fra runde 1 til runde 2 av overvåkingsprogrammet eller manglende data.

Metaller

Denne studien er den første der en systematisk har sett på metallkonsentrasjoner i vann og gjeller på marine yngelanlegg. Det var til dels stor variasjon mellom anleggene og over tid i produksjonssyklusen (Tabell 7). Kilden til metaller i anleggene kan være flere, men den mest sannsynlige er lekkasje av metaller fra fôrpartikler og faeces. Utover dette er det også tenkelig at metalldeleer i anlegget kan lekke til vannet, bl.a. er dette dokumentert ved bruk av sinkanoder (Jelmert & Bergh 1995). For laksefisk finnes det gode referansedata på gjellemetallnivåer, mens dette i stor grad er ukjent for artene vi her arbeider med.

Konsentrasjonen av aluminium i vannet var gjennomgående lave med noen få unntak: i inntaksvann hos MHL ved slutt Stadium 3 og 4 (opp til 43 µg/l) og videre i karvannet hos NH-NK/Hal 2 ved start og slutt i Stadium 2 der konsentrasjonene kom opp i 115 µg/l. Gjelleverdiene for aluminium var lavest hos leppefisken hos MHL og gjennomgående høyere for kveite enn for de øvrige artene. Dette kan ha noe med gjellekarakteristika hos kveiteyngel å gjøre, eller det kan skyldes miljøet. Ved et av anleggene (SWH-Imsl) var gjelleverdiene 2-5 ganger høyere enn de øvrige kveiteanleggene og oppe i en konsentrasjon på 53,7 µg/g gjelle tørrvekt (t.v.) i gjennomsnitt. Tilsvarende nivåer av gjellealuminium hos laksefisk ville kunne forårsake fysiologiske effekter, men ikke være akutt dødelige (Bjerknes et al. 2007).

Kobber er giftig for fisk ved lave konsentrasjoner, men giftigheten avtar med økende hardhet i vannet. De fleste anleggene hadde ved enkelte målepunkter kobberkonsentrasjoner utover normale bakgrunnsnivåer på ≤ 2 µg/l. Gjelleprøvene viste at kveite ved NH-Hal hadde forhøyede gjellenivåer av kobber både i runde 1 (snittverdi 5,2 µg/g gjelle t.v.) og runde 2 (snittverdi 5,7 µg/g gjelle t.v.).

Sinkverdiene var gjennomgående høyest i vannet ved MHL (opp til 57 µg/l), men gjelleverdiene for leppefisken der var moderate (snittverdi 75,6 µg/g gjelle t.v.). Kveiteanleggene hadde gjennomgående lave sinkkonsentrasjon i vannet, med unntak av NH-Hal hvor konsentrasjonen var på maksimalt 38 (runde 1) og 31 (runde 2) µg/l. Disse to hadde også høyere gjelleverdier (henholdsvis 200 og 114 µg/g gjelle t.v.) enn de øvrige kveiteanleggene som alle hadde nivåer av sink i vannet på < 20 µg/l og gjelleverdier < 70 µg/g gjelle t.v.. Det er lite trolig at disse nivåene er skadelige for yngelen, men erfaringer og forsøk utført ved Austevoll Havbruksstasjon tilbake i 1995 (Jelmert & Bergh 1995) viste at slike konsentrasjonsnivåer i vann kan ha stor effekt på klekking hos kveite. Sinkgiftigheten i dette tilfelle var forårsaket av korrosjonsbeskyttelse av pumper med sinkanoder som førte til lekkasje av sink til vannet. Oppfølgende forsøk viste hemming av klekking på så lave konsentrasjoner som 12,5 µg Zn/l i vannet.

For jern var nivåene stort sett lavere enn det som kan være problematisk i både i vann (< 3 til 68 µg/l) og gjeller (113,2 til 265,4 µg/g gjelle t.v.) (Bjerknes et al. 2007).

Tabell 7. Konsentrasjon av metallene aluminium (Al), kobber (Cu), jern (Fe) og sink (Zn) i vannet og gjeller ($\mu\text{g/g}$ gjelle tørrvekt) ved prøvepunktene; Inntaksvann og Karvann hos a) MHL, b) NH-NK/Hal runde 1 og 2, c) SWH-Rørv/Imsl runde 1 og 2, d) SSP og e) ACJ/FG. Symbolet – indikerer manglende data.

a) MHL 1 - Leppesfisk		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5		
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Gjeller
Al ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<5	<5	<5	<5	<5	32	<5	43	<5	10	2,2
	Kar	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Cu ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<2	<2	2	<2	<2	<2	<2	<2	2	13	2,0
	Kar	3	<2	5	3	<2	<2	2	<2	<2	<2	
Fe ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	12	8	9	3	9	8	4	14	5	12	113,2
	Kar	8	5	11	<3	4	<3	4	9	3	8	
Zn ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	17	16	57	19	10	26	15	14	55	18	75,6
	Kar	24	14	28	21	17	9	13	10	20	10	

b) NH-NK/Hal 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 5 NH-Hal			Gjeller	
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Mellom	Slutt	Start	Mellom		Slutt
Al ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	21,3
	Kar	10	<5	35	<5	<5	<5	7	<5	<5	<5	
Cu ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	3	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	10	3	5,2
	Kar	5,6	<2	3	3	3	3	8,9	<2	<2	<2	
Fe ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	17	4	6	14	5	6	12	9	7	5	265,4
	Kar	15	<3	8	8	8	5	10	8	13	5	
Zn ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	14	<5	12	6	7	6	<5	11	38	7	200,2
	Kar	16	7	14	8	11	9	16	13	12	8	
NH-NK/Hal 2 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 NH-Hal		
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Gjeller
Al ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	7,3
	Kar	<5	<5	115	24	<5	<5	<5	<5	<5	5	
Cu ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<2	3	4	17	8	6	3	10	2	<2	5,7
	Kar	<2	4	2	8	26	9	6	17	<2	<2	
Fe ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	148	16	26	23	53	22	39	32	<3	<3	177,3
	Kar	<3	3	5	3	3	7	<3	<3	<3	<3	
Zn ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	9	11	12	19	12	10	9	10	7	10	113,5
	Kar	7	31	11	10	21	10	10	10	6	10	

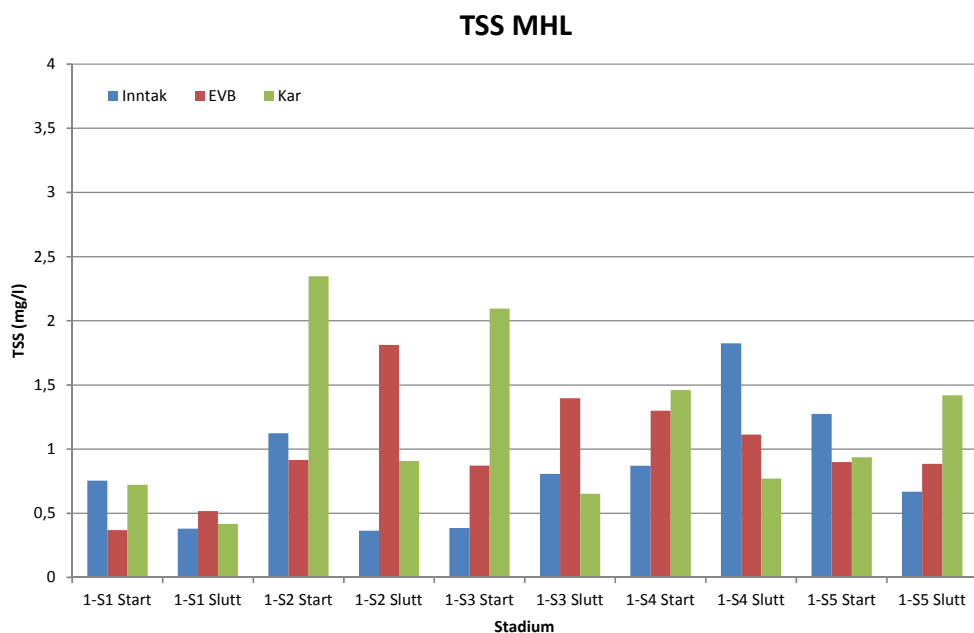
c) SWH-Rørv/Imsl 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 SWH-Imsl		
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Gjeller
Al ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<5	<5	15	<5	10	6	<5	<5	<5	<5	10,2
	Kar	<5	<5	17	<5	10	6	<5	<5	<5	<5	
Cu ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,2
	Kar	<2	<2	<2	<2	<2	12	<2	<2	<2	<2	
Fe ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	14	10	68	10	43	65	16	<3	5	3	159,5
	Kar	<3	<3	<3	<3	3	39	<3	<3	6	7	
Zn ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	5	6	7	5	7	6	<5	<5	7	9	64,7
	Kar	<5	<5	<5	<5	6	16	10	<5	21	11	
SWH-Rørv/Imsl 2 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 SWH-Imsl		
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Gjeller
Al ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<5	<5	<5	<5	5	<5	<5	-	<5	<5	53,7
	Kar	<5	<5	5	<5	121	<5	<5	-	<5	<5	
Cu ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<2	<2	<2	<2	3	<2	<2	-	<2	<2	2,3
	Kar	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	-	<2	<2	
Fe ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	9	5	8	<3	17	8	5	-	3	<3	154
	Kar	<3	<3	<3	<3	7	<3	<3	-	<3	4	
Zn ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	7	7	7	11	12	10	9	-	6	10	68,7
	Kar	8	7	7	9	10	10	11	-	7	10	

d) SSP 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2	
		Start	Slutt	Start	Slutt
Al ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<5	<5	<5	<5
	Kar	<5	<5	57	<5
Cu ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<2	<2	<2	<2
	Kar	<2	<2	<2	<2
Fe ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<3	<3	3	<3
	Kar	4	<3	3	5
Zn ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	6	6	<5	8
	Kar	5	<5	<5	14

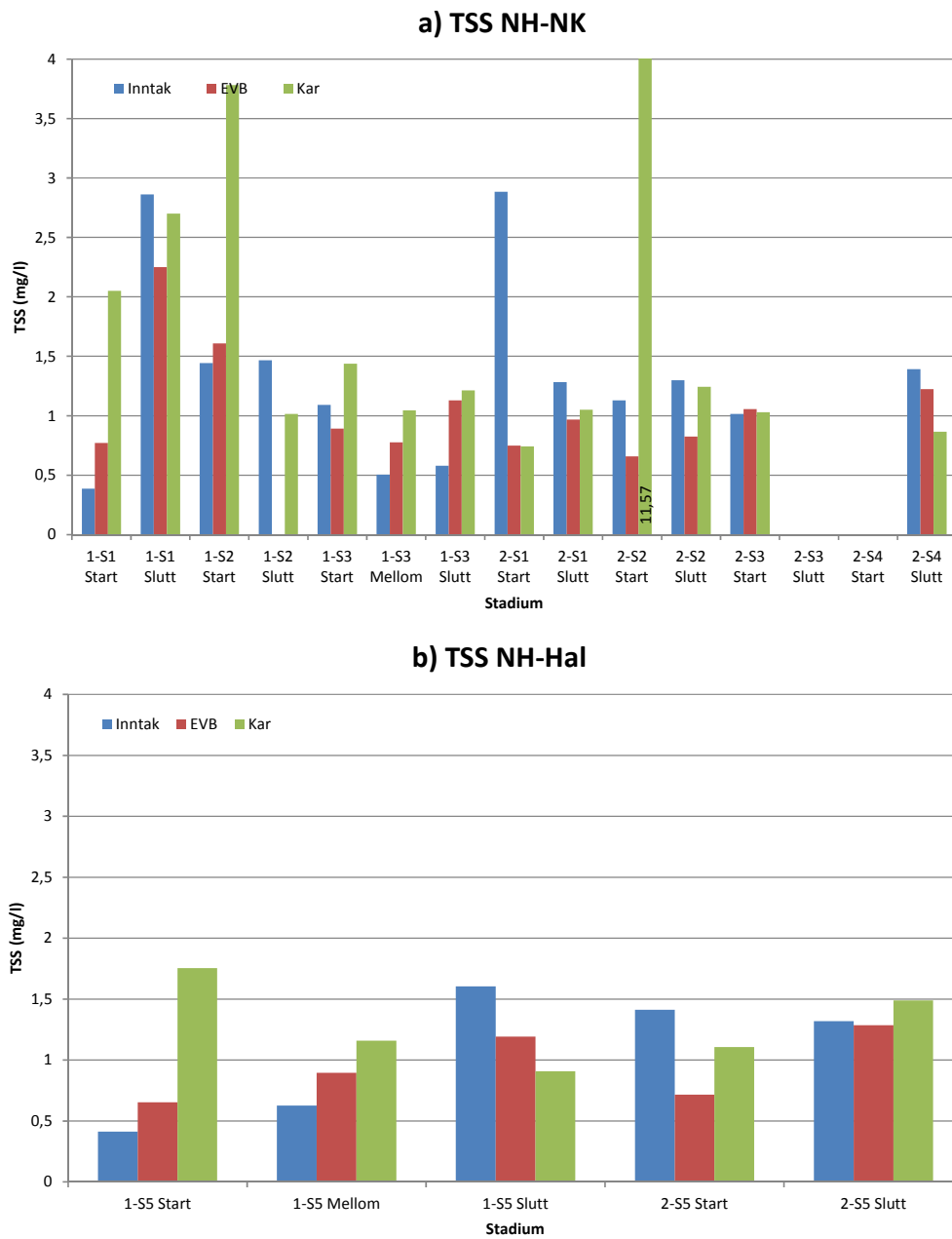
e) ACJ/FG 1 - Torsk		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 5 FG	
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt
Al ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<5	-	<5	<5	<5	<5	<5	-
	Kar	<5	-	<5	<5	<5	<5	<5	-
Cu ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	<2	-	<2	2	<2	<2	<2	-
	Kar	4	-	2	3	3	5	<2	-
Fe ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	8	-	7	7	9	132	6	-
	Kar	<3	-	<3	<3	13	58	8	-
Zn ($\mu\text{g/l}$)	Inntak	15	-	5	6	6	5	6	-
	Kar	14	-	7	6	14	9	9	-

Partikulært materiale

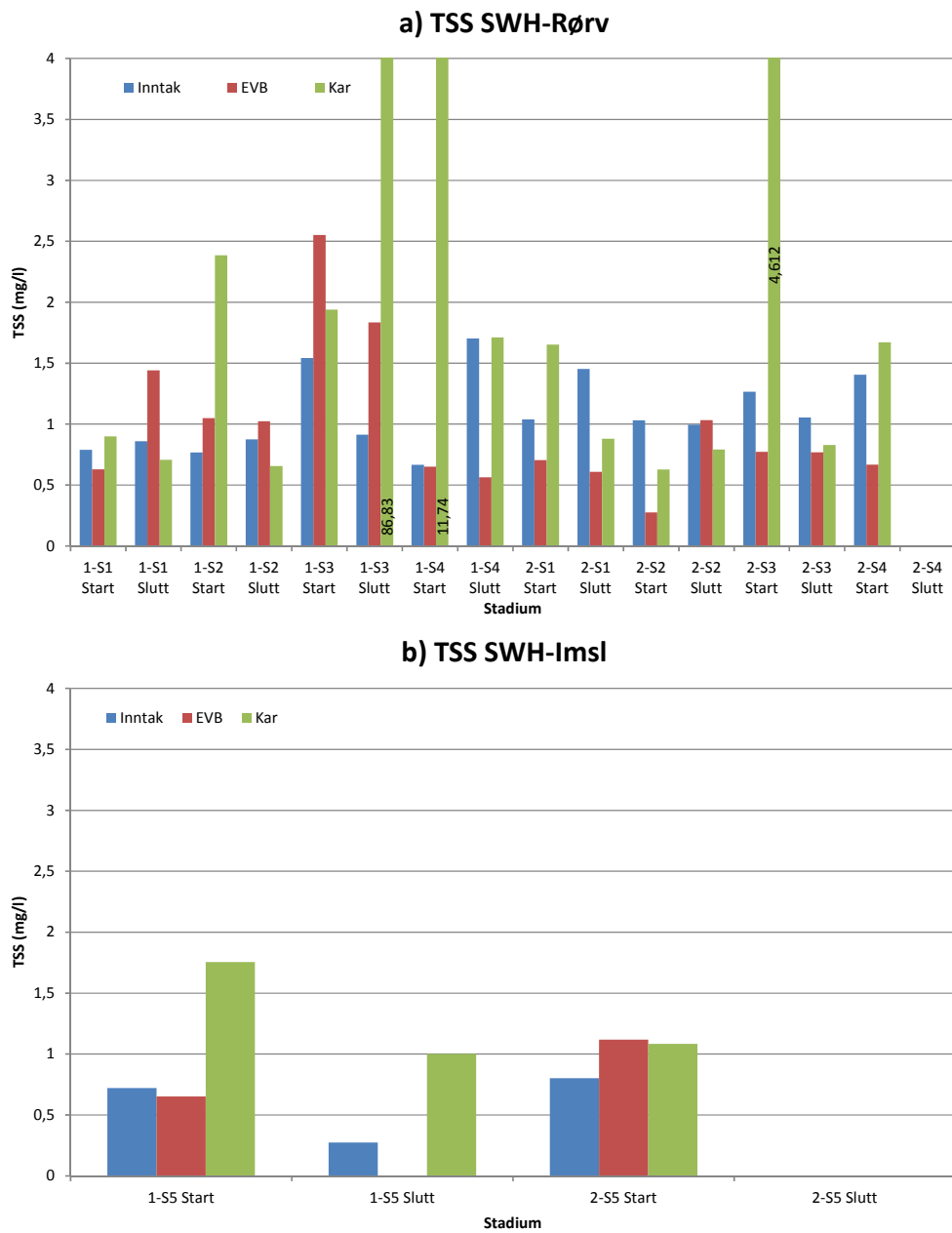
Partikkelanalysene indikerer generelt lave verdier i inntaksvannet og generelt høyere konsentrasjon i karvannet enn i de øvrige prøvepunktene for alle anleggene (Tabell 8). De observerte partikkelnivåene i karvannet er uansett stort sett lave og vil ikke påvirke yngelen negativt. Det kan videre observeres en økning fra inntaksvann til EVB i en rekke tilfeller (basert på TSS resultatene). Dette er ikke ønskelig og indikerer variabel effekt av partikkelfjerningen og muligens støtvide utslipp av partikulært materiale fra filtreringsenhetene eller «knusing og aggregering» av partikler i samme enhet. Dette kan illustreres ved å studere størrelsesfordeling av partikler, hvor både totalantallet og volumfordelingen av de ulike størrelsesgruppene kan bidra til økt forståelse av mekanismene. Resultatene fra størrelsesfordeling av partiklene varierer mye, men i enkelte tilfeller observeres det et lavere antall partikler og at større partikler dominerer i EVB i forhold til inntaksvannet (Figur 11). For øvrig kan det se ut som både NH-NK og SWH-Rørv har forbedret partikkelfjerningen fra runde 1 til runde 2. Det organiske materialet er substrat for bakterier og bidrar til oksygenforbruket og avfallsproduksjon når det blir brutt ned. På denne måten kan forhøyede partikkelnivåer bidra til høye nivåer av bakterier og nedbrytningsprodukter som igjen kan påvirke yngelen negativt.



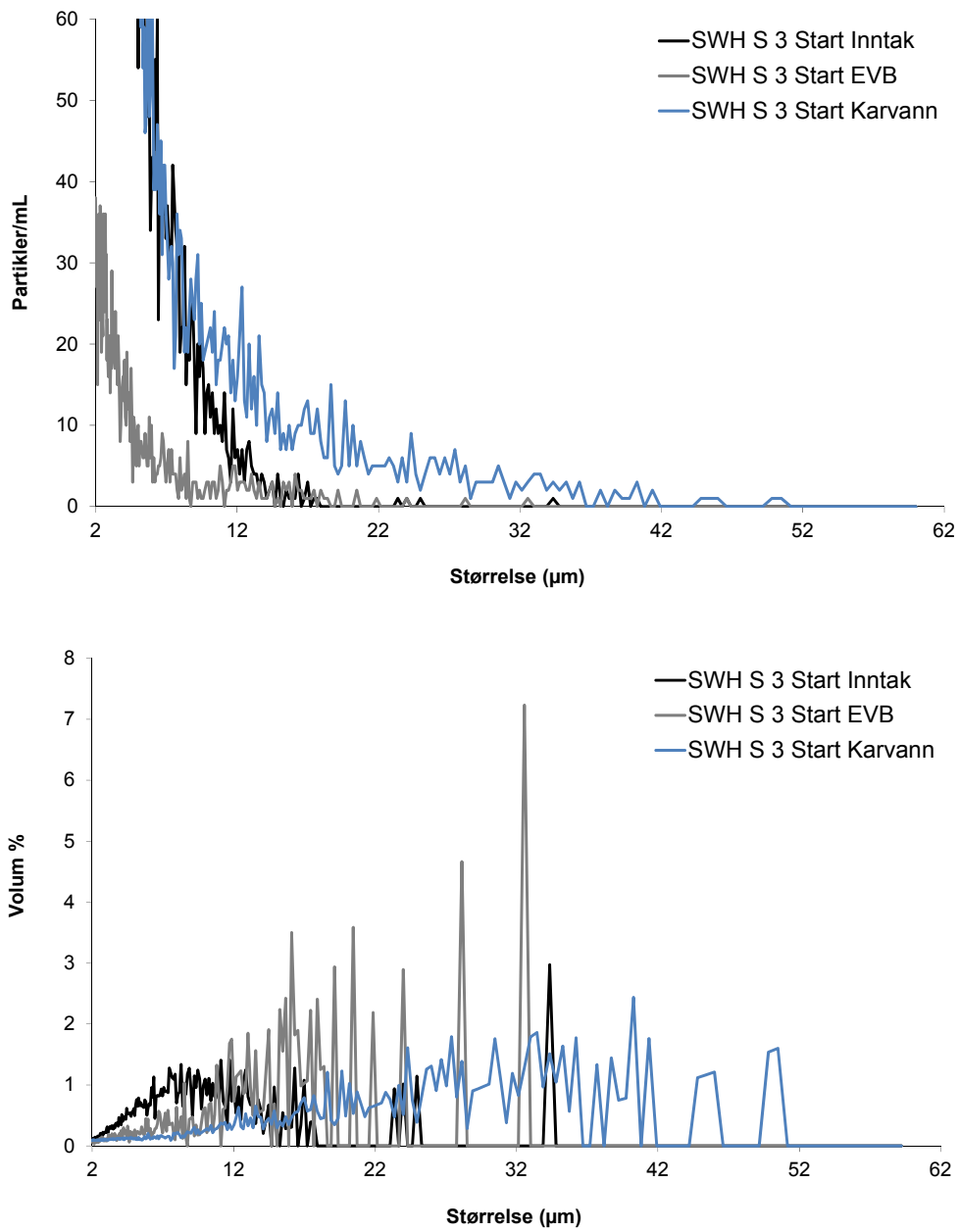
Figur 8. Total Suspended Solids (TSS) i vannet ved de ulike prøvepunktene og stadiene ved MHL. Manglende søyler indikerer manglende prøve.



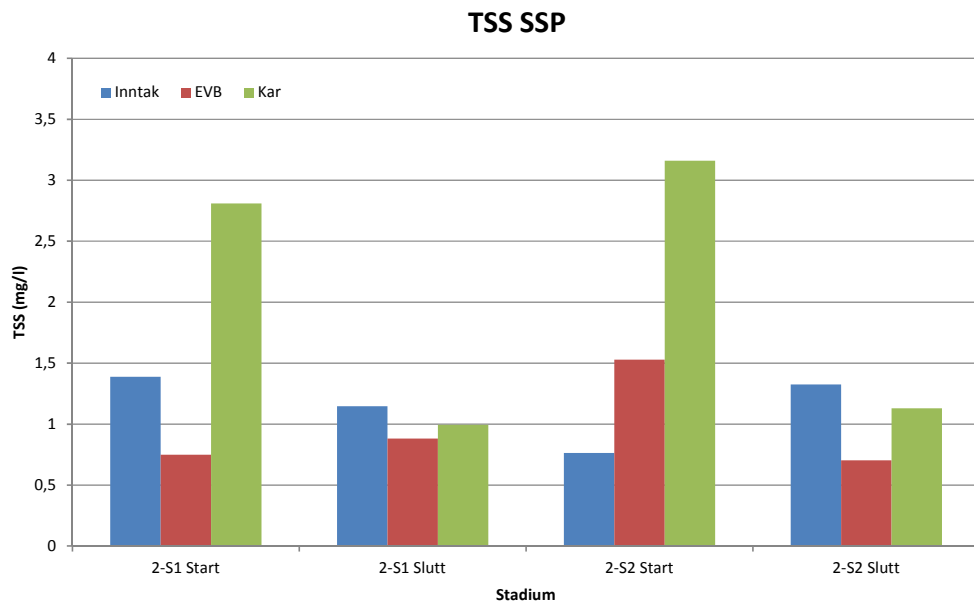
Figur 9. Total Suspended Solids (TSS) i vannet ved de ulike prøvepunktene og stadiene ved a) NH-NK og b) NH-Hal. Manglende søyler indikerer manglende prøve.



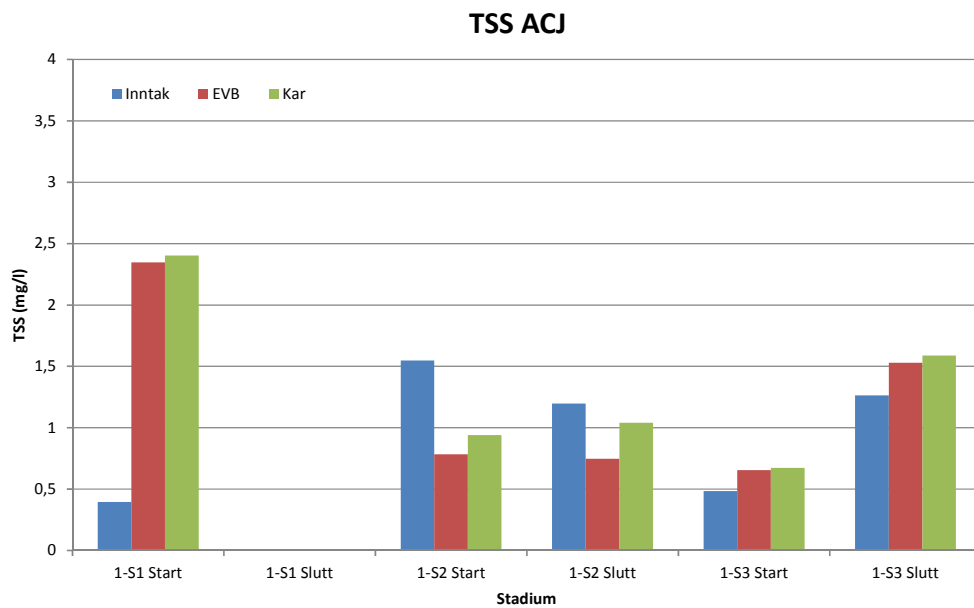
Figur 10. Total Suspended Solids (TSS) i vannet ved de ulike prøvepunktene og stadiene ved a) SWH-Rør og b) SWH-Imsl. Manglende søyler indikerer manglende prøve.



Figur 11. Størrelsesfordeling og volumfordeling (%) av partikler (2-60 µm) i inntaksvannet, EVB og karvannet i stadium 3 Start ved SWH-Rørv runde 1.



Figur 12. Total Suspended Solids (TSS) i vannet ved de ulike prøvepunktene og stadiene ved SSP. Manglende søyler indikerer manglende prøve.



Figur 13. Total Suspended Solids (TSS) i vannet ved de ulike prøvepunktene og stadiene ved ACJ. Manglende søyler indikerer manglende prøve.

Tabell 8. Målte verdier av uorganisk- (turbiditet og Total Suspended Solids – TSS) og organisk materiale (Total Organic Carbon – TOC, TSS og Volatile Suspended Solids – VSS) i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadiene hos a) MHL, b) NH-NK/Hal runde 1 og 2, c) SWH-Rørv/Imsl runde 1 og 2, d) SSP og e) ACJ/FG. Symbolet – indikerer manglende data.

a) MHL 1 - Leppefisk		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5		Snitt
		Start 14.09.11	Slutt 21.09.11	Start 29.09.11	Slutt 14.10.11	Start 25.10.11	Slutt 02.03.12	Start 30.03.12	Slutt 18.06.12	Start 30.11.12	Slutt 08.03.13	
Turbiditet (FNU)	Inntak	0,33	0,37	0,33	0,60	0,31	0,60	0,52	0,47	0,50	0,28	0,43
	EVB	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kar	0,38	0,26	5,65	1,38	0,52	0,48	0,22	0,60	0,34	0,46	
TOC (mg/l)	Inntak	1,60	1,10	1,10	1,30	1,10	1,30	1,10	1,00	0,86	0,73	1,12
	EVB	1,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kar	1,40	1,00	1,30	1,30	1,20	1,60	1,40	1,50	1,10	1,40	
TSS (mg/l)	Inntak	0,75	0,38	1,12	0,36	0,39	0,81	0,87	1,82	1,28	0,67	0,85
	EVB	0,70	0,52	0,91	1,81	0,87	1,40	1,30	1,11	0,90	0,89	
	Kar	0,72	0,42	2,35	0,91	2,10	0,65	1,46	0,77	0,94	1,42	
VSS (mg/l)	Inntak	0,35	0,28	0,34	0,26	0,35	0,42	0,28	0,88	0,49	0,29	0,39
	EVB	0,25	0,36	0,30	0,47	0,62	0,50	0,32	0,59	0,36	0,33	
	Kar	0,38	0,29	0,47	0,53	0,82	0,64	1,26	0,53	0,48	0,77	

b) NH-NK/Hal 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3			Stadium 5 NH-Hal			Snitt
		Start 29.04.11	Slutt 10.06.11	Start 20.06.11	Slutt 15.08.11	Start 22.08.11	Mellom 11.10.11	Slutt 02.11.11	Start 15.12.11	Mellom 27.03.12	Slutt 02.05.12	
Turbiditet (FNU)	Inntak	0,61	0,39	-	0,69	0,60	0,45	0,83	0,44	0,29	0,43	0,60/0,39
	Kar	1,96	0,29	-	0,95	0,32	0,50	0,80	0,43	0,64	0,41	
TOC (mg/l)	Inntak	1,40	1,10	1,00	1,30	1,20	1,10	1,40	1,10	1,00	1,00	1,21/1,03
	Kar	4,40	1,10	1,10	1,30	1,60	2,30	1,80	1,70	1,30	1,70	
TSS (mg/l)	Inntak	0,39	2,86	1,44	1,47	1,09	0,50	0,58	0,41	0,63	1,61	1,19/0,87
	EVB	0,77	2,25	1,61	-	0,89	0,78	1,13	0,65	0,90	1,19	
	Kar	2,05	2,70	3,78	1,02	1,44	1,05	1,21	1,76	1,16	0,91	
VSS (mg/l)	Inntak	0,35	0,99	1,28	1,15	0,70	0,34	0,39	0,37	0,30	0,53	0,74/0,40
	EVB	0,55	1,01	1,12	-	0,48	0,50	0,45	0,30	0,37	0,66	
	Kar	1,13	1,07	1,29	0,53	0,94	0,49	0,57	1,05	0,74	0,46	

NH-NK/Hal 2 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 NH-Hal		Snitt
		Start 20.08.12	Slutt 21.09.12	Start 26.09.12	Slutt 20.11.12	Start 05.12.12	Slutt 31.01.13	Start 19.02.13	Slutt 08.04.13	Start 22.04.13	Slutt 30.09.13	
Turbiditet (FNU)	Inntak	1,90	0,78	0,69	0,45	0,88	0,48	0,47	0,91	0,31	0,84	0,82/0,58
	Kar	0,55	0,84	10,00	1,16	0,92	0,27	0,26	0,31	0,26	0,36	
TOC (mg/l)	Inntak	1,10	1,10	1,20	1,30	1,20	1,30	0,94	0,84	1,10	1,20	1,12/1,15
	Kar	1,00	1,20	0,55	1,30	2,20	1,10	1,20	0,90	1,30	1,80	
TSS (mg/l)	Inntak	2,89	1,28	1,13	1,30	1,01	-	-	1,39	1,41	1,32	1,50/1,37
	EVB	0,75	0,97	0,66	0,82	1,06	-	-	1,22	0,72	1,29	
	Kar	0,74	1,05	11,57	1,24	1,03	-	-	0,86	1,11	1,49	
VSS (mg/l)	Inntak	1,65	0,53	0,38	0,46	0,38	-	-	0,44	0,53	1,05	0,64/0,79
	EVB	0,41	0,41	0,21	0,32	0,31	-	-	0,35	0,35	0,55	
	Kar	0,39	0,37	0,73	0,50	0,51	-	-	0,34	0,75	1,36	

c) SWH-Rørv/Imsl 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 SWH-Imsl		Snitt
		Start 18.07.11	Slutt 05.09.11	Start 05.09.11	Slutt 07.11.11	Start 12.10.12	Slutt 06.11.11	Start 08.11.11	Slutt 08.11.11	Start 13.03.12	Slutt 29.05.13	
Turbiditet (FNU)	Inntak	0,50	0,45	1,14	0,22	0,53	0,50	0,37	0,19	0,51	0,32	0,49/0,42
	Kar	0,16	0,17	3,13	0,28	2,20	59,10	1,80	0,33	0,43	0,27	
TOC (mg/l)	Inntak	0,94	0,94	1,00	0,96	0,98	0,89	0,97	1,20	1,10	0,98	0,99/1,04
	Kar	0,95	1,10	0,91	1,00	1,20	126,00	2,30	1,30	1,60	1,20	
TSS (mg/l)	Inntak	0,79	0,86	0,77	0,88	1,54	0,91	0,67	1,70	0,72	0,27	1,01/0,50
	EVB	0,63	1,44	1,05	1,02	2,55	1,83	0,65	0,56	0,65	-	
	Kar	0,90	0,71	2,38	0,66	1,94	86,83	11,74	1,71	1,76	1,00	
VSS (mg/l)	Inntak	0,30	0,33	0,39	0,45	0,50	0,29	0,34	0,75	0,50	0,15	0,42/0,33
	EVB	0,37	0,60	0,35	0,35	0,77	0,52	0,32	0,34	0,3	-	
	Kar	0,44	0,39	0,39	0,43	0,40	71,64	8,41	1,36	1,05	0,44	

SWH-Rørv/Imsl 2 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 SWH-Imsl		Snitt
		Start 17.07.12	Slutt 21.07.12	Start 02.08.12	Slutt 13.09.12	Start 26.09.12	Slutt 14.11.12	Start 06.12.12	Slutt -	Start 06.06.13	Slutt 02.09.13	
Turbiditet (FNU)	Inntak	0,50	0,46	0,56	0,57	1,03	0,80	0,48	-	0,17	0,23	0,63/0,20
	Kar	0,26	0,33	0,38	0,30	5,36	0,25	0,78	-	0,48	1,13	
TOC (mg/l)	Inntak	0,96	0,93	1,10	1,20	1,00	1,00	0,88	-	0,90	1,60	1,01/1,25
	Kar	0,93	0,88	1,10	0,92	1,00	0,67	2,30	-	1,40	1,60	
TSS (mg/l)	Inntak	1,04	1,45	1,03	1,00	1,27	1,05	1,40	-	0,80	-	1,18/0,80
	EVB	0,70	0,61	0,28	1,03	0,77	0,77	0,67	-	1,12	-	
	Kar	1,65	0,88	0,63	0,79	4,61	0,83	1,67	-	1,08	-	
VSS (mg/l)	Inntak	0,47	0,90	0,63	0,33	0,42	0,35	0,50	-	0,37	-	0,52/0,37
	EVB	0,35	0,36	0,23	0,34	0,39	0,29	0,20	-	0,42	-	
	Kar	0,82	0,46	0,29	0,27	0,63	0,33	1,12	-	0,65	-	

d) SSP 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Snitt
		Start 06.06.12	Slutt 17.06.12	Start 28.06.12	Slutt 08.09.12	
Turbiditet (FNU)	Inntak	0,26	0,35	0,69	0,45	0,44
	Kar	0,12	0,16	1,84	0,25	0,59
TOC (mg/l)	Inntak	1,1	0,91	0,91	0,88	0,95
	Kar	0,91	0,87	1,4	0,96	1,04
TSS (mg/l)	Inntak	1,39	1,15	0,76	1,33	1,16
	EVB	0,75	0,88	1,53	0,70	0,97
	Kar	2,81	1,00	3,16	1,13	2,02
VSS (mg/l)	Inntak	0,60	0,48	0,54	0,54	0,54
	EVB	0,39	0,40	1,47	0,25	0,63
	Kar	2,57	0,45	1,77	0,52	1,33

e) ACJ/FG 1 - Torsk		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 5 FG		Snitt
		Start 26.05.11	Slutt	Start 16.06.11	Slutt 30.06.11	Start 07.09.11	Slutt 17.10.11	Start 10.01.12	Slutt	
Turbiditet (FNU)	Inntak	0,18	-	0,19	0,18	0,15	0,76	0,27	-	0,29/0,27
	Kar	0,27	-	0,40	0,39	0,25	0,52	0,47	-	0,37/0,47
TOC (mg/l)	Inntak	1,00	-	0,99	1,00	1,20	1,00	1,00	-	1,04/1,00
	Kar	1,10	-	1,20	1,20	1,00	1,40	2,80	-	1,18/2,80
TSS (mg/l)	Inntak	0,40	-	1,55	1,20	0,48	1,27	1,24	-	0,98/1,24
	EVB	2,35	-	0,78	0,75	0,66	1,53	0,84	-	1,21/0,84
	Kar	2,40	-	0,94	1,04	0,67	1,59	1,13	-	1,33/1,13
VSS (mg/l)	Inntak	0,23	-	0,54	0,49	0,34	0,52	0,90	-	0,42/0,90
	EVB	0,77	-	0,44	0,38	0,39	0,56	0,45	-	0,51/0,45
	Kar	0,70	-	0,58	0,58	0,41	0,60	0,92	-	0,57/0,92

3.1.2 Mikrobiologiske parametre

Bakterieantallet i hver enkelt prøve ble undersøkt ved dyrking av bakterier på syntetisk medium (heterotrof bakteriell vekst, Colony Forming Units - CFU) og ved totaltelling av bakterier (Marie et al. 1999). Bakteriesammensetningen i de forskjellige prøvene ble karakterisert ved DNA analyser av oppkonsentrerte prøver (Hess-Erga et al. 2010, Cardinale et al. 2004). Førstnevnte teknikk vil fange opp de bakteriene som lar seg dyrke og som er dyrkbare på prøvetidspunktet, og de øvrige metodene vil fange opp bakterier som har en tilfredsstillende mengde DNA som henholdsvis lar seg farge eller kopiere, uavhengig om de er levende og/eller dyrkbare. Sammen vil disse metodene kunne gi et innblikk i det bakterielle samfunnet og dets hovedegenskaper. I tillegg ble det tatt ut algeprøver for identifisering ved hjelp av mikroskopi og for totaltelling. Det skal nevnes at prøvene ble opparbeidet av en rekke ulike personer, noe som kan gjøre det utfordrende å sammenlikne resultater fra ulike anlegg. Det antas at samme person på hvert enkelt anlegg opparbeidet prøvene og derfor vil det fokuseres på sammenlikning av anleggsspesifikke CFU-resultat fremfor sammenlikning mellom anleggene. De øvrige bakterieundersøkelsene og algeanalysene vil ikke påvirkes av prøvetaking i samme grad.

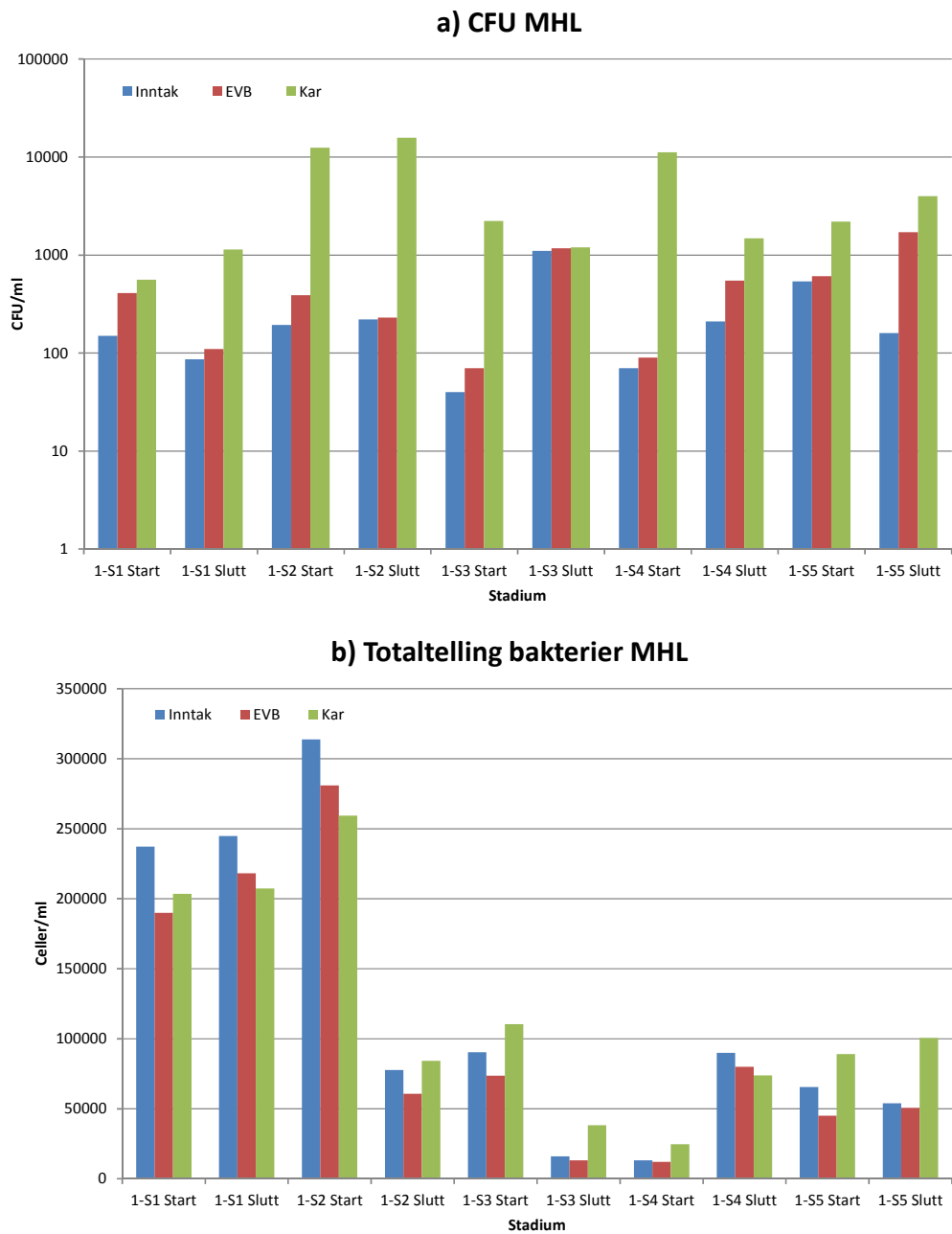
Antall bakterier og alger

Bakterieantallet varierer nokså mye både mellom prøvepunktene (inntak, etter vannbehandling (EVB) og i karvannet) og over tid/stadium (Figur 14-29). En slik variasjon er naturlig, spesielt i inntaksvannet og i karvannet, men store variasjoner i CFU etter vannbehandlingen kan tyde på varierende desinfiseringseffekt. CFU resultatene indikerer variabel og stort sett liten effekt av vannbehandlingen på de dyrkbare bakteriene for alle anleggene utenom SWH-Rørv (Figur 17). Totaltellingene og DNA

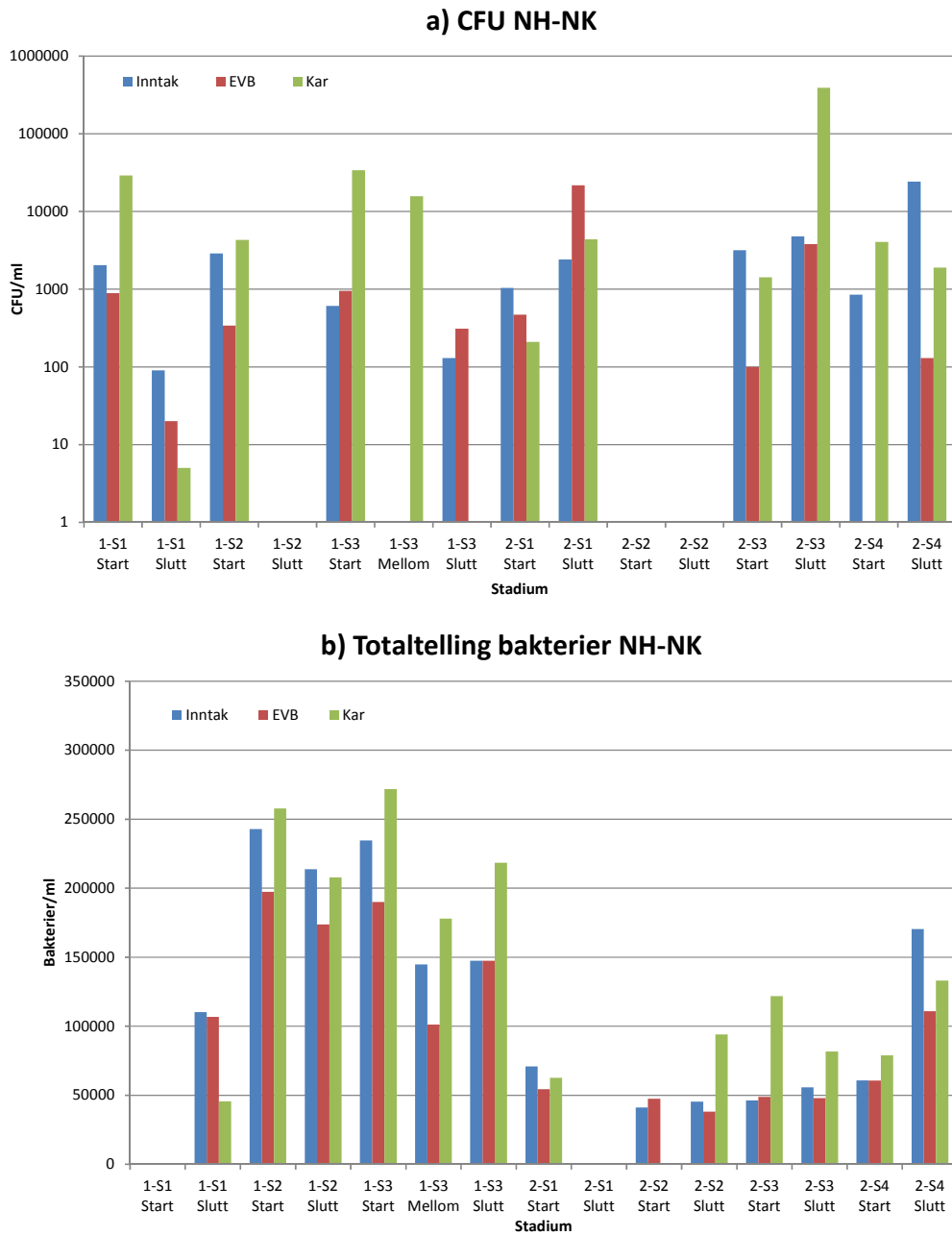
resultatene indikerer derimot en vannbehandlingseffekt på alle anleggene. Generelt kan dette indikere at vannbehandlingen påvirker bakterier som ikke lar seg dyrke fremfor de dyrkbare. Uansett er det vanlig å finne veldig få dyrkbare bakterier i «rene» miljø i motsetning til påvirkede miljø som fiskekar, noe som stemmer overens med resultatene (Tabell 9). Slike bakterier har ofte muligheter til å utnytte pulser med høy næring (opportunist). Dette kan tydelig observeres da bakterieantallet i karvannet går markant opp i de aller fleste tilfellene. Sannsynligvis finnes det noen bakterier blant disse som kan forårsake problemer og derfor bør kanskje innsatsen rettes mot inaktivering/fjerning/reduisering av opportunist fremfor å slå seg til ro med god reduksjon av totaltallet. Likevel kan det ikke utelukkes at det bl. a. finnes patogene bakterier og opportunistiske bakterier som lar seg dyrke ved endrede betingelser. Modning av vannet eller resirkulering av vannet er kanskje den eneste strategien som kan redusere antall opportunist og promotere fordelaktige bakterier (Vadstein et al. 1993, Attramadal et al. 2012). Basert på bakterieantallet kan det for øvrig ikke observeres noen tydelige sesong- eller geografiske variasjoner i inntaksvannet.

Periodene med bruk av levendefôr er vanligvis den perioden med størst fiskedødelighet og hvor en av teoriene for hva dette skyldes er tilførsel av et ugunstig bakteriesamfunn sammen med levendefôret. En av prøvene som ble sendt inn var tatt fra produksjonstanken for levendefôret (SWH-Rørv 1-S3 Slutt) og resultatene fra denne viser et betraktelig høyere bakterienivå (Figur 17). Sekvenseringsresultatene fra denne prøven viser at produksjonsvannet domineres av en bakterieslekt (*Lactococcus*) som sannsynligvis er tilsatt for å ha en probiotisk effekt (Figur 28). I de fleste tilfeller benyttes ikke en slik strategi og da vil et slikt produksjonsmiljø domineres av opportunistiske bakterier (Skjermo og Vadstein 1993). Selv om levendefôret vaskes grundig før tilsetning i fiskekaret vil vannet (og levendefôret) inneholde et høyt antall bakterier som påvirker fiskelarvene og muligens reduserer overlevelsen. Basert på ovennevnte kan det se ut som eventuelle tiltak for bakteriell kontroll bør settes inn i tilknytning til fiskekarene og levendefôrproduksjonen, og i mindre grad på inntaksvannet.

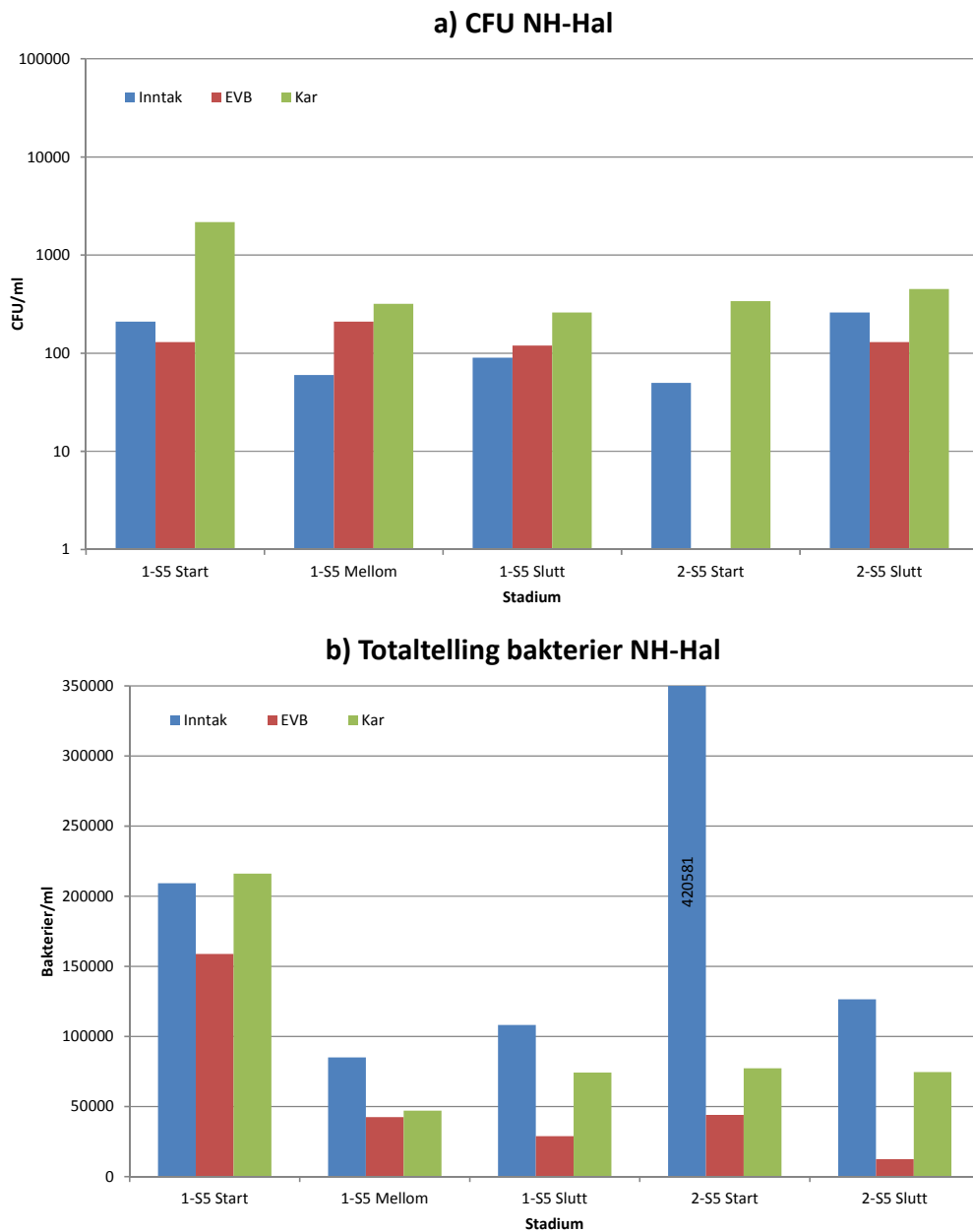
Totaltellingene av alger indikerer stort sett liten variasjon mellom de ulike prøvepunktene ved samme dato, men relativt stor sesongvariasjoner (lite alger senhøst og vinter) og innslag av fôrorganismer i karvannet (Tabell 9). Det kan derfor se ut som vannbehandlingen ikke er effektiv mot alger, men på den andre siden ser det heller ikke ut som algene i inntaksvannet deler seg og vokser i karvannet. Mikroskopieresultatene viser generelt en del detritus, få arter, mange skadede alger, og høyere diversitet i sene stadier og ved «grunne» inntak. Resultatene viser og enkelte høye forekomster av sopplignende celler (NH-NK S3 Start, runde 1) og trådformede blågrønnalger (SWH-Rørv S4 Slutt, runde 1 og ACJ S3 Slutt, runde 1). Hvorvidt slike forhold førte til økt dødelighet vites ikke, men de rapporterte dødelighetsdataene indikerer ikke en sterk sammenheng (Tabell 12).



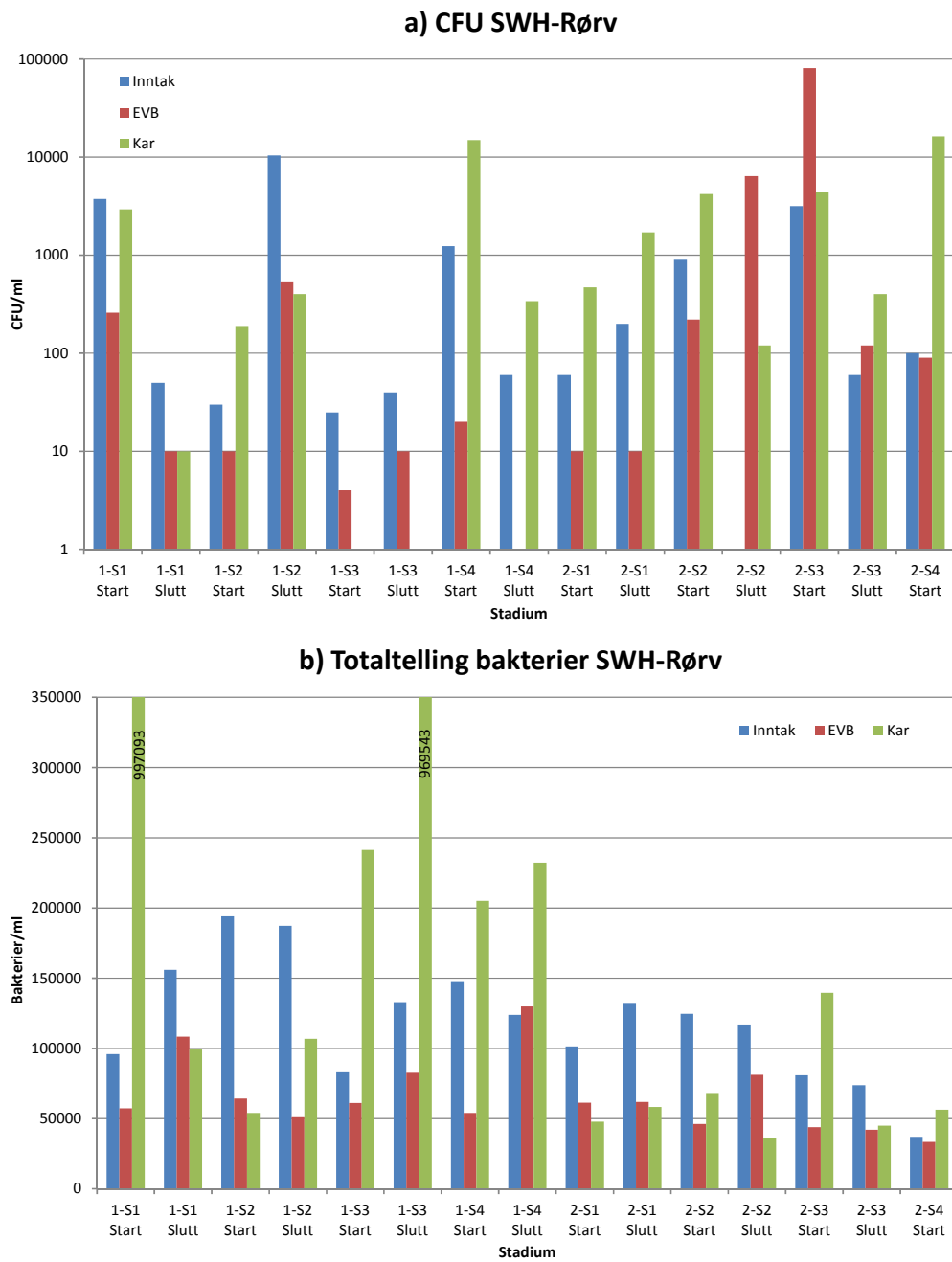
Figur 14. Bakterieantall målt som a) kolonidannende bakterier (CFU) og b) totaltelling ved flow cytometri (FCM) i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadium ved MHL. Manglende søyler indikerer manglende prøve eller kontaminert prøve.



Figur 15. Bakterientall målt som a) kolonidannende bakterier (CFU) og b) totaltelling ved flow cytometri (FCM) i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadium ved NH-NK. Manglende søyler indikerer manglende prøve eller kontaminert prøve.



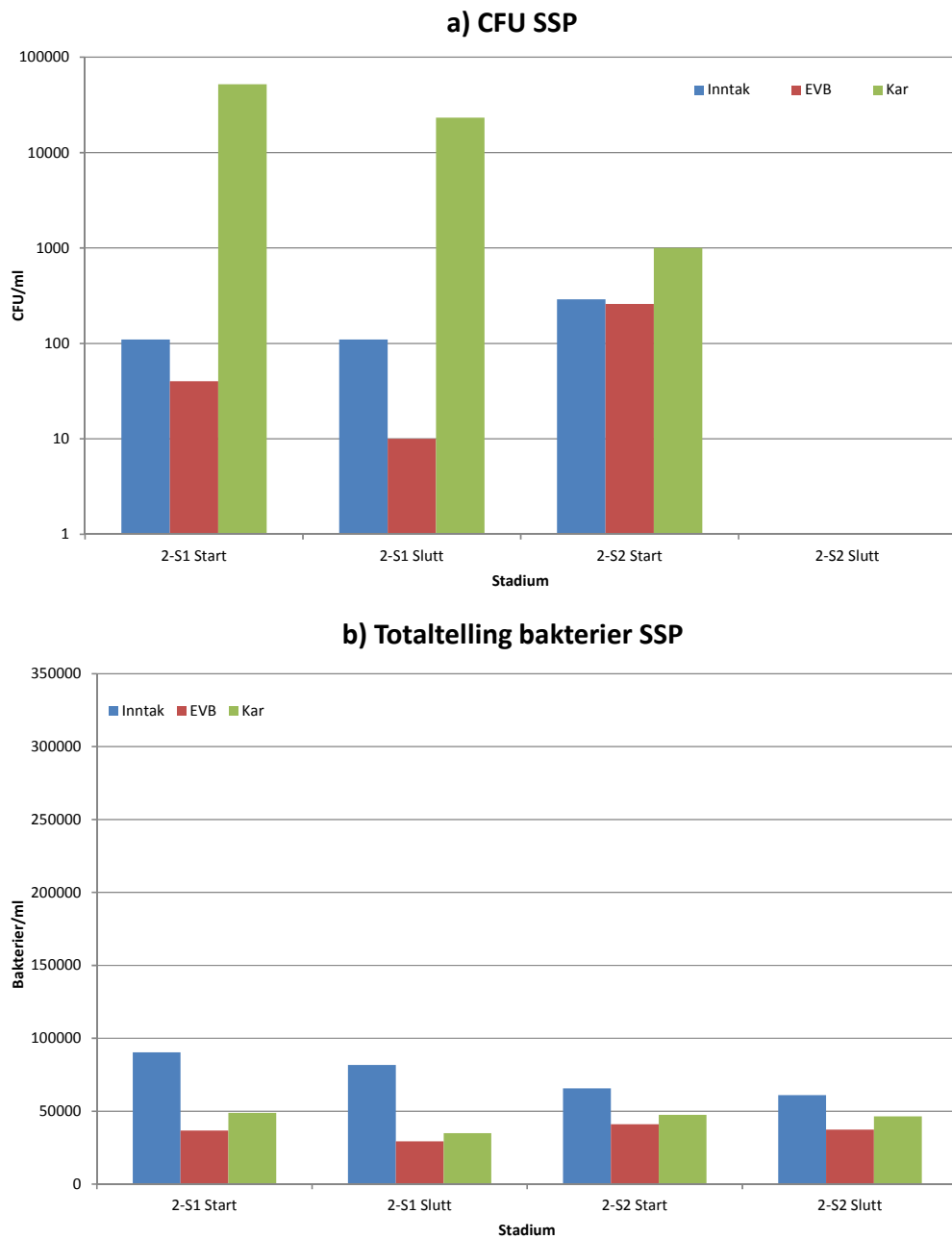
Figur 16. Bakterieantall målt som a) kolonidannende bakterier (CFU) og b) totaltelling ved flow cytometri (FCM) i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadium ved NH-Hal. Manglende søyler indikerer manglende prøve eller kontaminert prøve.



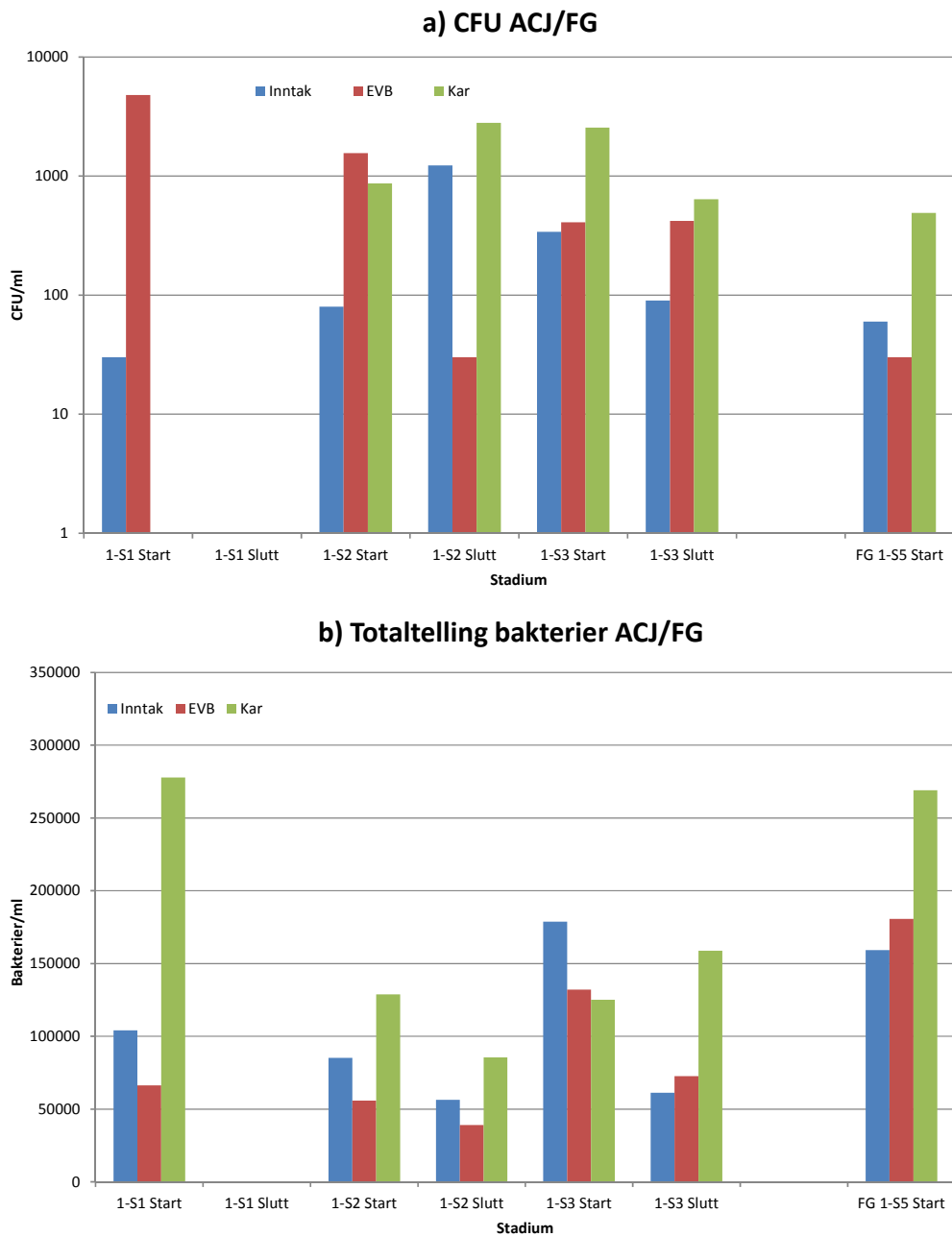
Figur 17. Bakterieantall målt som a) kolonidannende bakterier (CFU) og b) totaltelling ved flow cytometri (FCM) i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadium ved SWH-Rørv. Manglende søyler indikerer manglende prøve eller kontaminert prøve.



Figur 18. Bakterientall målt som a) kolonidannende bakterier (CFU) og b) totaltelling ved flow cytometri (FCM) i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadium ved SWH-Imsl. Manglende søyler indikerer manglende prøve eller kontaminert prøve.



Figur 19. Bakteriemengde målt som a) kolonidannende bakterier (CFU) og b) totaltelling ved flow cytometri (FCM) i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadium ved SSP. Manglende søyler indikerer manglende prøve eller kontaminert prøve.



Figur 20. Bakterientall målt som a) kolonidannende bakterier (CFU) og b) totaltelling ved flow cytometri (FCM) i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadium ved ACJ/FG. Manglende søyler indikerer manglende prøve eller kontaminert prøve.

Tabell 9. Målte verdier av bakterier (Colony Forming Units – CFU, prosent synlige kolonier etter 4 dager – PV4, totaltelling ved flow cytometri – FCM) og alger (totaltelling fototrofe alger ved FCM) i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadiene hos a) MHL, b) NH-NK/Hal runde 1 og 2, c) SWH-Rørv/Imsl runde 1 og 2, d) SSP og e) ACJ/FG. Symbolet – indikerer manglende data.

a) MHL 1 - Leppfisk	Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5		Snitt	
	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt		
CFU (celler/ml)	Inntak	150	87	193	220	40	1100	70	210	540	160	
	EVB	410	110	390	230	70	1170	96	550	610	1710	
	Kar	560	1140	12450	15800	2225	1200	11200	1480	2200	4000	
PV4 (%)	Inntak	60	35	47	32	75	89	86	86	11	50	57
	EVB	20	27	67	26	57	3	44	35	18	14	31
	Kar	50	88	84	80	67	96	92	96	64	93	81
Tot bakterier (celler/ml)	Inntak	237209	244767	313837	77635	90475	16060	13205	89936	65476	53996	
	EVB	189884	218256	280930	60615	73753	13205	12134	79943	45140	50607	
	Kar	203488	207326	254419	84206	110481	38187	24625	73876	89093	100495	
Dyrkbare bakterier (%)	Inntak	0,06	0,04	0,06	0,28	0,04	6,85	0,53	0,23	0,82	0,30	0,92
	EVB	0,22	0,05	0,14	0,40	0,10	8,86	0,74	0,69	1,35	3,38	1,59
	Kar	0,28	0,55	4,80	18,76	2,01	3,14	45,48	2,00	2,47	3,98	8,34
Alger (celler/ml)	Inntak	49070	41047	43256	4479	1792	24	0	71	-	-	
	EVB	45465	40698	65930	9555	2289	0	24	24	-	-	
	Kar	41628	45953	204070	14930	26575	24	0	24	-	-	

b) NH-NK/Hal 1 - Kveite	Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3			Stadium 5 NH-Hal			Snitt	
	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Mellom	Slutt	Start	Mellom	Slutt		
CFU (celler/ml)	Inntak	2040	90	2890	-	610	-	130	210	60	90	
	EVB	893	20	340	-	950	-	310	130	210	120	
	Kar	29150	5	4320	-	34000	15700	-	2170	320	260	
PV4 (%)	Inntak	68	100	71	-	61	-	69	67	67	33	74/56
	EVB	51	50	53	-	25	-	45	46	48	58	45/51
	Kar	54	-	98	-	44	46	-	31	38	54	49/41
Tot bakterier (celler/ml)	Inntak	-	110293	242907	213721	224651	144819	147507	209316	84940	108138	
	EVB	-	106860	197442	173837	190116	101224	147507	158853	42470	28908	
	Kar	-	45581	257791	207791	271860	177964	218573	216184	47110	74233	
Dyrkbare bakterier (%)	Inntak	-	0,08	1,19	-	0,26	-	0,09	0,10	0,07	0,08	0,40/0,08
	EVB	-	0,02	0,17	-	0,50	-	0,21	0,08	0,49	0,42	0,23/0,33
	Kar	-	-	1,68	-	12,51	8,82	-	1,00	0,68	0,35	5,75/0,68
Alger (celler/ml)	Inntak	-	39535	40930	44535	33953	1194	1792	0	0	0	
	EVB	-	46163	37442	44302	41628	1792	1194	597	0	0	
	Kar	-	44186	38837	35814	116279	8659	2389	1194	0	0	
NH-NK/Hal 2 - Kveite	Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 NH-Hal		Snitt	
	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt		
CFU (celler/ml)	Inntak	1040	2410	-	-	2160	4800	850	24300	50	260	
	EVB	470	21700	-	-	100	3800	-	130	-	130	
	Kar	210	4380	-	-	1420	392000	4070	1900	340	450	
PV4 (%)	Inntak	85	48	-	-	94	-	73	-	106	58	75/79
	EVB	79	11	-	-	60	-	-	-	-	8	50/8
	Kar	90	5	-	-	8	-	13	-	35	73	29/54
Tot bakterier (celler/ml)	Inntak	70912	-	41157	45327	46155	55730	60728	170438	420581	126407	
	EVB	54465	-	47530	38189	48842	47983	60697	110928	44078	12527	
	Kar	62680	-	-	94200	121909	81689	78971	133155	77347	74567	
Dyrkbare bakterier (%)	Inntak	1,47	-	-	-	6,85	8,61	1,40	14,26	0,01	0,21	6,52/0,111
	EVB	0,86	-	-	-	0,20	7,92	-	0,12	-	1,04	2,28/1,04
	Kar	0,34	-	-	-	1,16	-	5,15	1,43	0,44	0,60	2,02/0,52

c) SWH-Rørv/Imsl 1 - Kveite	Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 SWH-Imsl		Snitt	
	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt		
CFU (celler/ml)	Inntak	3740	50	30	10400	25	40	1240	60	25300	320	
	EVB	260	10	10	540	4	10	20	-	3000	-	
	Kar	2940	10	190	-	400	-	14900	340	39800	3900	
PV4 (%)	Inntak	66	60	67	59	72	100	71	100	8	69	74,2/38
	EVB	85	-	-	44	50	100	100	-	49	-	76/49
	Kar	64	-	84	-	68	-	65	9	9	69	48/39
Tot bakterier (celler/ml)	Inntak	95930	155930	194070	187220	83010	132875	147208	123918	54961	84594	
	EVB	57326	108488	64302	51060	61212	82711	54046	129890	50678	-	
	Kar	997093	99302	54070	106898	241266	969543	205136	232308	94933	110944	
Dyrkbare bakterier (%)	Inntak	3,9	0,03	0,02	5,55	0,03	0,03	0,84	0,05	46,03	0,38	1,31/23,21
	EVB	0,5	0,01	0,02	1,06	0,01	0,01	0,04	-	5,92	-	0,23/5,92
	Kar	0,30	0,01	0,35	-	0,17	-	7,26	0,15	41,92	3,52	1,37/22,72
Alger (celler/ml)	Inntak	50465	41512	45000	896	1194	1194	299	1194	0	-	
	EVB	41395	43372	44884	896	299	1194	1792	597	0	-	
	Kar	3488	36279	55581	896	15527	1057629	1493	896	0	-	

SWH-Rørv/Imsl 2 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 SWH-Imsl		Snitt
		Start 17.07.12	Slutt 21.07.12	Start 02.08.12	Slutt 13.09.12	Start 26.09.12	Slutt 14.11.12	Start 06.12.12	Slutt -	Start 06.06.13	Slutt 02.09.13	
CFU (celler/ml)	Inntak	60	200	900	-	3160	60	100	-	1250	380	
	EVB	10	10	220	6400	81000	120	90	-	290	-	
	Kar	470	1710	4200	120	4400	400	16300	-	29400	6300	
PV4 (%)	Inntak	67	100	67	-	34	33	90	-	76	74	65/75
	EVB	100	-	82	8	38	67	33	-	14	-	47/14
	Kar	100	84	71	67	66	50	88	-	74	24	75/49
Tot bakterier (celler/ml)	Inntak	101357	131733	124767	117051	80830	73770	36971	-	94887	69803	
	EVB	61385	61868	46218	81252	43922	42110	33410	-	107726	-	
	Kar	47823	58385	67419	35846	139605	45062	56386	-	272276	261952	
Dyrkbare bakterier (%)	Inntak	0,06	0,15	0,72	-	3,91	0,08	0,27	-	1,32	0,54	0,87/0,93
	EVB	0,02	0,02	0,48	7,88	-	0,28	0,27	-	0,27	-	1,49/0,27
	Kar	0,98	2,93	6,22	0,33	3,15	0,89	28,91	-	10,8	2,41	6,20/6,60
Alger (celler/ml)	Inntak	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EVB	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kar	143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

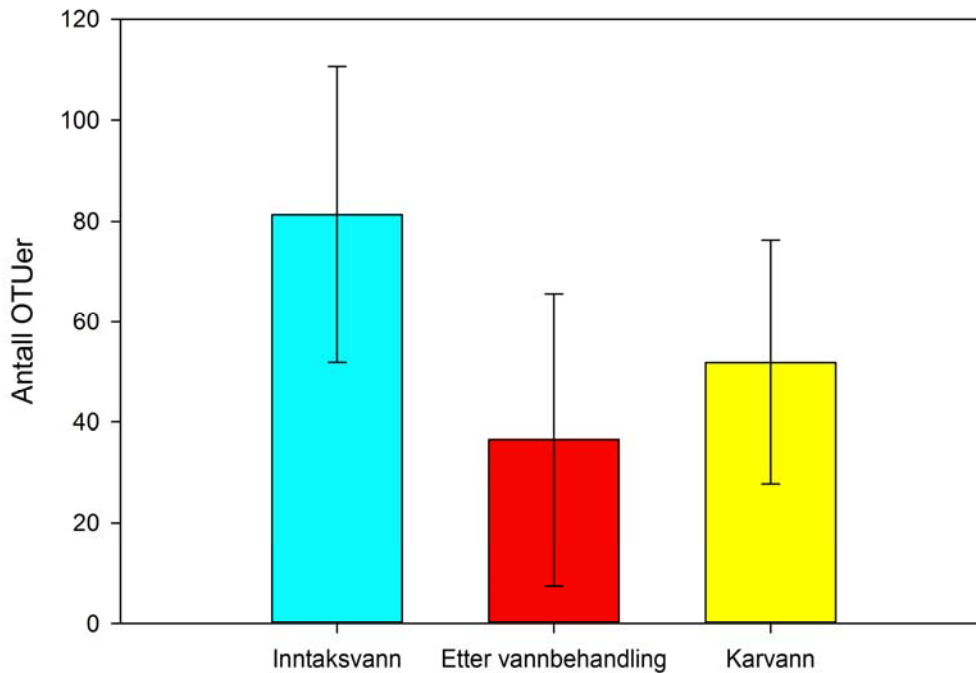
d) SSP 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Snitt
		Start 06.06.12	Slutt 17.06.12	Start 28.06.12	Slutt 08.09.12	
CFU (celler/ml)	Inntak	110	110	290	-	
	EVB	40	10	260	-	
	Kar	52000	23200	1000	-	
PV4 (%)	Inntak	91	55	59	-	68
	EVB	75	100	85	-	87
	Kar	-	-	-	-	-
Tot bakterier (celler/ml)	Inntak	90293	81728	65668	61009	
	EVB	36760	29265	41042	37408	
	Kar	48894	34975	47466	46327	
Dyrkbare bakterier (%)	Inntak	0,12	0,13	0,44	-	0,23
	EVB	0,11	0,03	0,63	-	0,26
	Kar	106,35	66,33	2,11	-	58,26
Alger (celler/ml)	Inntak	71	0	24	-	
	EVB	0	0	0	-	
	Kar	0	0	0	-	

e) ACJ/FG 1 - Torsk		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 5 FG		Snitt
		Start 26.05.11	Slutt -	Start 16.06.11	Slutt 30.06.11	Start 07.09.11	Slutt 17.10.11	Start 10.01.12	Slutt -	
CFU (celler/ml)	Inntak	30	-	80	1230	340	90	60	-	
	EVB	4800	-	1560	30	410	420	30	-	
	Kar	-	-	870	2800	2560	640	490	-	
PV4 (%)	Inntak	-	-	13	29	67	-	17	-	36/17
	EVB	-	-	-	-	51	14	33	-	33/33
	Kar	-	-	-	20	66	58	67	-	48/67
Tot bakterier (celler/ml)	Inntak	104070	-	85116	56279	178721	61212	159152	-	
	EVB	66279	-	55814	38954	132093	72559	180651	-	
	Kar	277791	-	128837	85581	125116	158853	269036	-	
Dyrkbare bakterier (%)	Inntak	0,03	-	0,09	2,19	0,19	0,15	0,04	-	0,65/0,04
	EVB	7,24	-	2,8	0,08	0,31	0,58	0,02	-	2,20/0,02
	Kar	-	-	0,68	3,27	2,05	0,4	0,18	-	1,60/0,18
Alger (celler/ml)	Inntak	66744	-	50814	48140	43954	2090	597	-	
	EVB	59884	-	52209	48488	47093	3285	896	-	
	Kar	49302	-	44070	58488	49767	5673	2687	-	

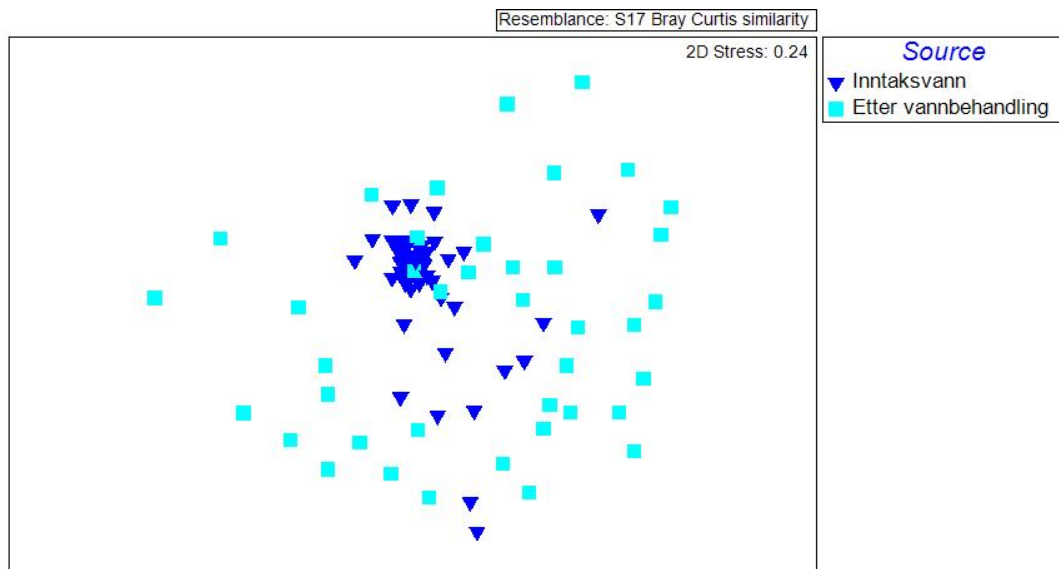
Bakteriesammensetning

Det ble oppkonsentrert bakterier og ekstrahert DNA (Hess-Erga et al. 2010) fra inntaksvann (54 prøver), EVB (50 prøver) og karvann (53 prøver) ved de ulike anleggene, totalt 157 prøver. To ulike metoder ble benyttet for molekylærbiologiske analyser av de oppkonsentrerte bakterieprøvene (pkt. 2.1.1). Den ene metoden; Automated Ribosomal Intergenic Spacer Analysis (ARISA) ble benyttet til diversitetsanalyse av bakterier (prøvens «fingeravtrykk») og til å sammenligne et stort antall prøver. ARISA metoden er svært sensitiv og kan differensiere bakterier på arts- eller stammenivå, men metoden gir ingen informasjon om hvilken bakterie hvert fragment kommer fra. Den andre metoden; masse-sekvensering ble benyttet for å få et mer detaljert bilde av bakteriesamfunnene gjennom taksonomisk klassifisering.

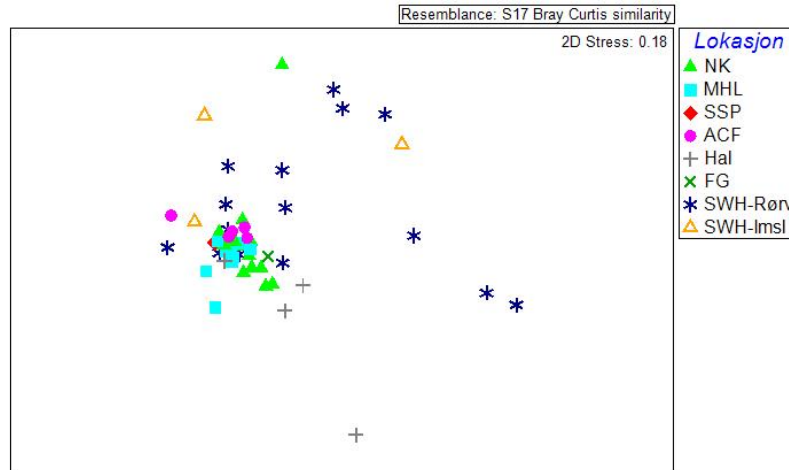
Diversiteten (mangfold) varierte mellom 5 og 152 ulike «Operational Taxonomic Units» (OTU ~ art) i de forskjellige prøvene. Seks av de syv prøvene med lavest diversitet var tatt etter vannbehandling og seks av de syv prøvene med høyest diversitet var tatt fra inntaksvannet. Gjennomsnittlig antall OTUer i inntaksvannet (81 ± 29) var høyere enn antallet etter vannbehandling (37 ± 29) (Figur 21). Dette viser at vannbehandlingen hadde en signifikant effekt på diversiteten i vannet og at desinfiseringen ødelegger en rekke bakteriearter (gjør DNAet utilgjengelig for kopiering). Hvorvidt de gjenværende bakteriene drepes av behandlingen vites ikke med sikkerhet, men CFU resultatene indikerer at en rekke bakterier overlever. Uansett øker diversiteten igjen i karvannet (52 ± 25 OTU), med bakterielle bidrag både fra fisken, fôret og det som slipper gjennom desinfiseringen av det tilsatte vannet. Bakteriesamfunnet i karvannet kan inkludere både skadelige (bl. a. patogene og opportuniste) og fordelaktige bakterier (utfører viktige prosesser). Det er ikke slik at høy eller lav diversitet nødvendigvis sier noe om miljøet er bra eller dårlig. Høy diversitet og stabile forhold sees ofte på som fordelaktig siden de etablerte bakterieartene konkurrerer effektivt mot eventuelle inntrengere og hindrer etablering og oppblomstring (Vadstein et al. 1993). Hvilket prøvepunkt (inntaksvann, etter vannbehandling, karvann) prøvene var tatt fra hadde også en stor effekt på bakteriesammensetningen på tvers av de ulike anleggene (ANOSIM: $R=0.28$, $p=0.01$). Særlig var inntaksvannet bemerkelsesverdig homogent mellom anleggene (Figur 22 og 23) på tross av at prøvene var tatt fra ulike årstider og på forskjellig sted. Et mulig unntak kan være Sterling White Halibut som ser ut til å ha svært varierende bakteriesamfunn i inntaksvannet. Bakteriesammensetning etter vannbehandling ved alle anleggene så ut til å variere mye mer (Figur 22).



Figur 21. Figuren viser mangfold av ulike bakterier i inntaksvann, vann etter vannbehandling og i karvann, etter analyse av 157 prøver fra seks ulike anlegg. Stolpene viser standardavviket. Bakteriesamfunnet ble analysert ved ARISA analyse av ITS regionen i bakterier.

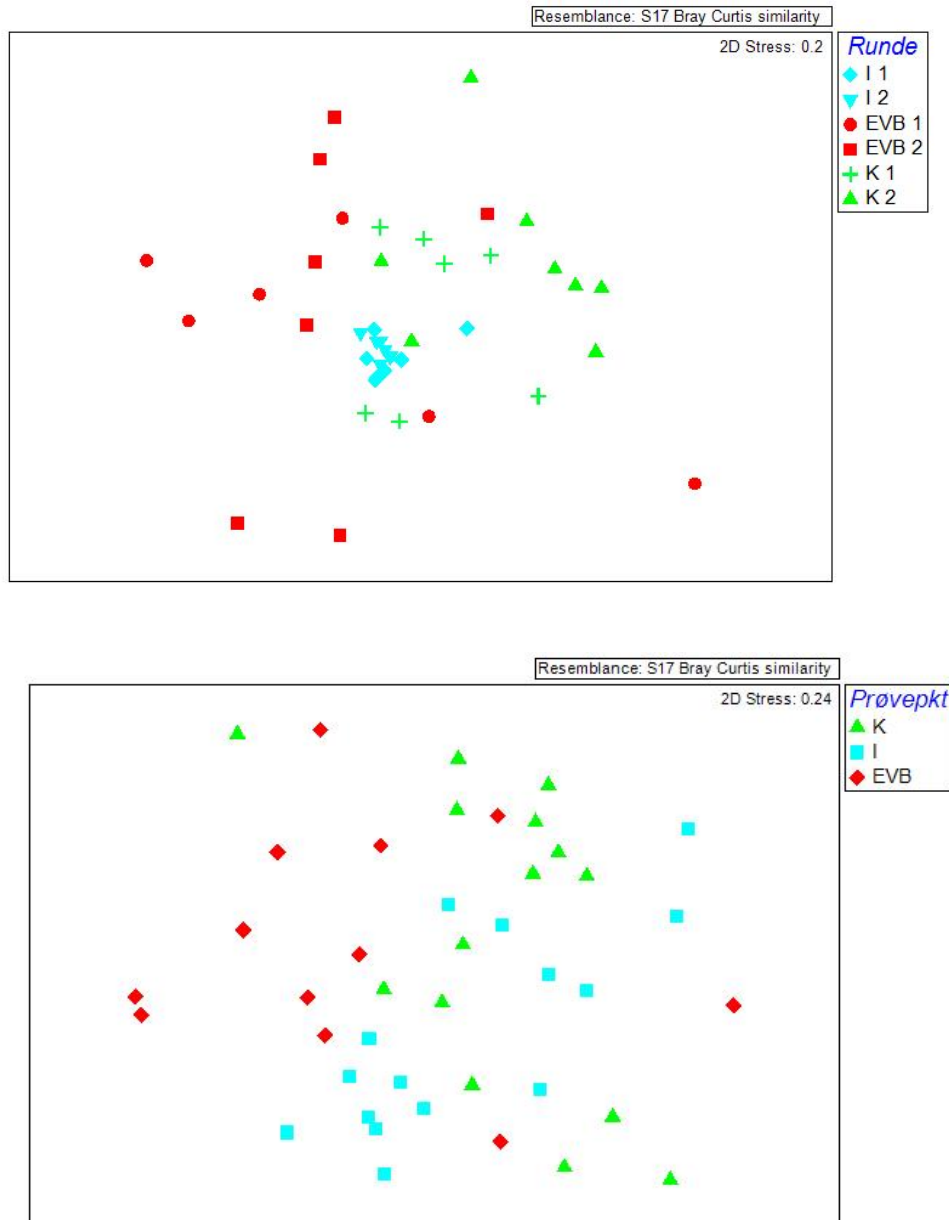


Figur 22. MDS plot som viser likhet i bakteriesamfunn fra ulike prøver fra inntaksvann og etter vannbehandling i 97 prøver fra 6 ulike anlegg. Bakteriesamfunnet ble analysert ved ARISA analyse av ITS regionen. Bray-Curtis likhet ble kalkulert og er basis for MDS-plottet. Lavt 2D Stress indikerer godt samsvar med plassering i n dimensjoner.



Figur 23. MDS plot som illustrerer likhet i bakteriesamfunn fra ulike prøver fra inntaksvannet til anleggene (totalt 54 prøver). Bakteriesamfunnet ble analysert ved ARISA analyse av ITS regionen. Bray-Curtis likhet ble kalkulert og er basis for MDS-plottet. Lavt 2D Stress indikerer godt samsvar med plassering i n dimensjoner. NK: Norsk kveite, MHL: MH Labrus, ACF: Atlantic Cod Farms, Hal: NH-Halibut, FG: Fjord Gadus, SWH-Rørv: Sterling White Halibut Rørvik, SWH-Imsl: Sterling White Halibut Imsland, SSP: Sande Seafarm Production.

Prøvene fra Norsk Kveite (NH-NK) og Sterling White Halibut (SWH-Rørv) ble analysert separat (Figur 24 a og b), og viser tydelig at prøvene fra inntaksvannet hos NH-NK var ganske like med tanke på diversitet. Prøvene fra Sterling White Halibut viser ingen slik tydelig gruppering noe som indikerer en mer variabel bakteriell diversitet i inntaksvannet. Prøvene fra både EVB og karvannet ved begge anleggene viser stor spredning og er dermed nokså ulike. For NH-NK sees heller ikke noen forskjell mellom runde 1 og 2 av overvåkingsprogrammet, selv om vannbehandlingsanlegget ble skiftet ut mellom prøvetakingsrundene. Som nevnt tidligere sier ikke høy eller lav diversitet nødvendigvis noe om vannmiljøet er bra eller dårlig, men varierende diversitet betyr ofte at bakteriene har blitt utsatt for endrede fysiske og kjemiske forhold, både naturlige (f. eks. næringstilgang) eller menneskepåførte (f. eks. desinfisering).

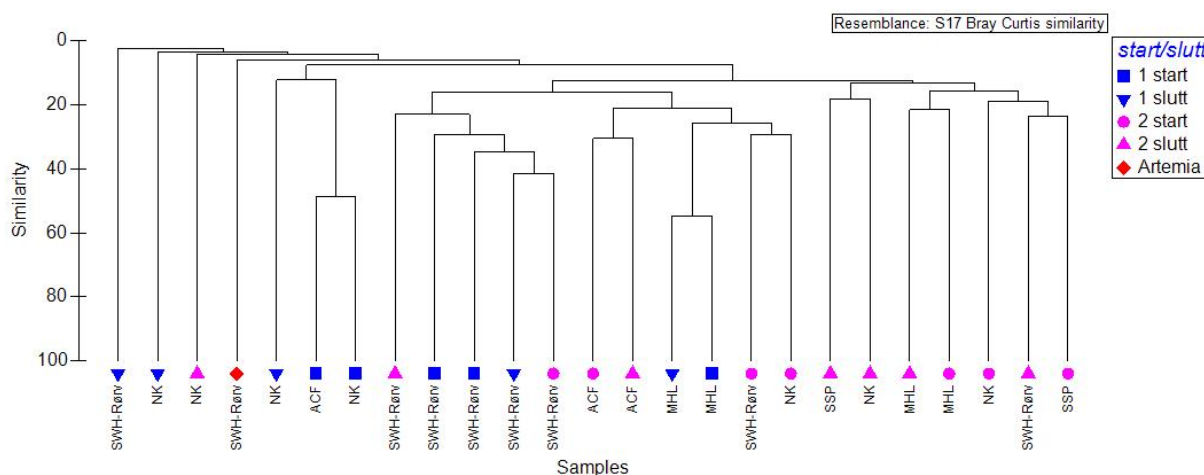


Figur 24. Figurene viser likhet i bakteriesamfunnene mellom prøver tatt fra inntaksvannet (I-turkis), etter vannbehandling (EVB-røde) og i karene (K- grønn) ved henholdsvis NH-NK (øverst) og SWH-Rør (nederst). For NH-NK er prøvene også differensiert iht. runde 1 og runde 2 av overvåkingsprogrammet. ARISA resultatene er analysert ved MDS analyse basert på Bray-Curtis likhet mellom prøvene. Lavt 2D Stress indikerer godt samsvar med plassering i n dimensjoner.

Stadium 1 og 2

Bakteriesamfunnet i karene med larver/fisk i stadium 1 (klekkeri/plommesekk) og 2 (levendefôr) er av særlig interesse siden disse stadiene er assosiert med høyest dødelighet. Det kan ha mange årsaker, og en av disse kan ligge i bakteriesamfunnet. At yngel i stadium 2 er avhengig av levendefôr er også ventet å påvirke bakteriesamfunnet i stor grad. Figur 25 viser at bakteriesamfunnet endrer seg markant for de fleste anlegg mellom stadium 1 og 2. Samtidig grupperer prøven fra start og slutt i samme fase ofte sammen

(MHL og ACF), noe som kan bety stabile forhold. Det kan og observeres relativt stor likhet mellom to prøver i stadium 1 som representerer to ulike fiskearter (torsk og kveite), men i stadium 2 er forskjellene større da effekten av fôrorganismene og kanskje fiskeartene gjør seg gjeldende. Forskjellene mellom stadium 1 og 2 skyldes at prøvene er tatt fra nokså ulike system, hvor stadium 1 (klekkeri/plommesekk) driftes med relativ liten organisk belastning og stadium 2 (levendefôr) med høyere organisk belastning. I tillegg tilføres det bakterier assosiert med levendefôret i stadium 2, men hvis den ene artemiaprøven (rød rute) er representativ for SWH, virker det som bakteriesamfunnet i karvannet (SWH stadium 2) i liten grad er forbundet med bakteriesamfunnet i artemiakulturen. En forklaring på dette kan være at bakteriene i artemiakulturen sannsynligvis var tilsatt og ikke evner å reprodusere seg i karvannet. I de fleste tilfellene vil nok bakteriesamfunnet i levendefôret versus karvannet avvike på hvilke arter som dominerer (færre i levendefôrproduksjonen) og ikke på antall totale arter i prøven. Dermed vil nok antall dominerende arter utgjøre forskjellen mellom levendefôrproduksjonen og karvannet i stadium 2.



Figur 25. Cluster-analyse av bakteriesamfunnene i kar med larver/ynge i stadium 1 (klekkeri/plommesekk - blå) og 2 (levendefôr - rosa) samt en prøve fra SWHs artemiakultur (rød rute). Rundinger og firkanter indikerer start-prøvene og trekkanter indikerer slutt-prøvene. Cluster-analysen viser likhet (similarity, y-aksen) basert på Bray-Curtis likhet mellom bakteriesamfunnene. Forgreining høyt oppe viser lav likhet. En gruppe inneholdt mange av prøvene fra stadium 2 (de 7 prøvene til høyre). NK: Norsk kveite, MHL: MH Labrus, ACF: Atlantic Cod Farms, SWH: Sterling White Halibut Rørvik.

Masse-sekvensering

Med bakgrunn i mengde innsendte prøver og ønske om å sammenlikne 2 anlegg med samme fiskeart (NK og SWH) ble det valgt ut 12 prøver (Tabell 10) for masse-sekvensering av 16S rDNA ved Illumina-sekvensering (også kalt «high throughput sequencing» eller «next generation sequencing»). Metoden gir et bilde av relativ utbredelse av de forskjellige taksa, og ved å sammenligne sekvensene mot referansedatabaser gir metoden mulighet for detaljert taksonomisk analyse (pkt. 2.1.1). 16S rDNA er

likevel mye mer konservert enn ITS så resultatene er ikke direkte sammenlignbare. Masse-sekvensering ble benyttet til; a) å beskrive bakteriesamfunnet i de to anleggene taksonomisk, b) identifisere forskjeller og likheter mellom prøvene/anleggene/prøvepunktene og c) se på forekomsten av kjente potensielt patogene organismer.

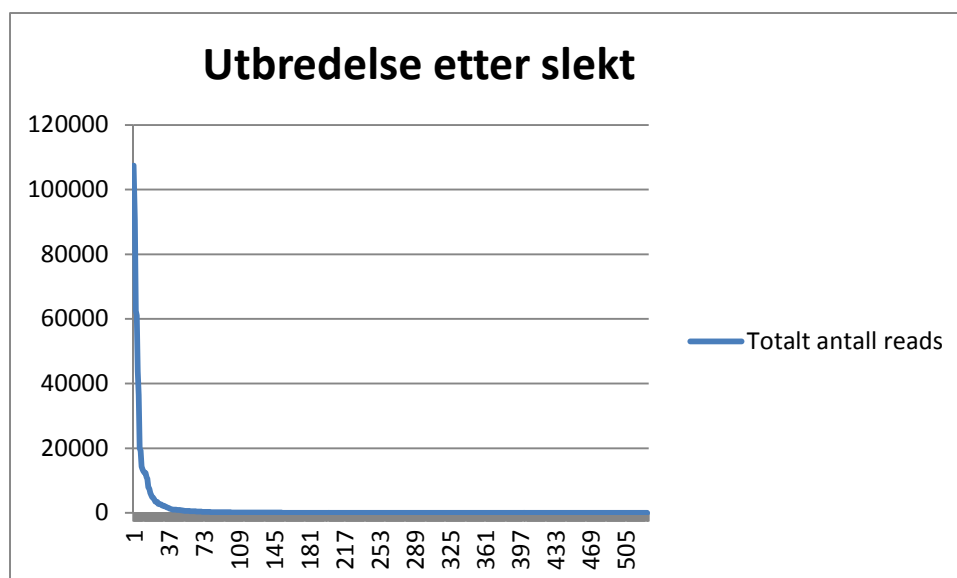
Tabell 10. Prøver som ble analysert med Illumina sekvens-analyse.

Prøve nr.	Anlegg	Prøve	Prøvepunkt	Prøve nr. (ARISA)	Prøvedato
1	NH-NK	1. runde S2 start	Karvann	51	20.06.11
2	NH-NK	1.runde S2 slutt	Karvann	47	15.08.11
3	NH-NK	2.runde S2 start	Karvann	16	26.09.12
4	NH-NK	2.runde S2 slutt	Karvann	4	20.11.12
5	NH-NK	2.runde S2 slutt	EVB	12	20.11.12
6	SWH-Rørvik	1.runde S2 start	Karvann	121	05.09.11
7	SWH-Rørvik	1.runde S2 slutt	Karvann	104	07.11.11
8	SWH-Rørvik	2.runde S2 start	Karvann	137	02.08.12
9	SWH-Rørvik	2.runde S2 slutt	Karvann	140	13.09.12
10	SWH-Rørvik	1.runde S3 slutt (artemiakult)	Karvann	117	06.11.11
11	SWH-Rørvik	1.runde S3 slutt (før artemiakult)	EVB	113	06.11.11
12	SWH-Rørvik	1.runde S2 slutt	EVB	102	07.11.11

Resultatet av sekvenseringen var 965.849 sammensatte og kvalitetskontrollerte sekvenser, mellom ~55.000 og 101.000 fra hver prøve (Tabell 11). Dette tilsvarte ~400.000 unike sekvenser (>2 bp forskjell). Som forventet for denne typen datamateriale er det noen få taxa som dominerer og mange som er sjeldne (Figur 26).

Tabell 11. Oversikt over antall sekvenser generert fra prøvene, antall sekvenser av god kvalitet og antall rekker (fylum) representert blant disse.

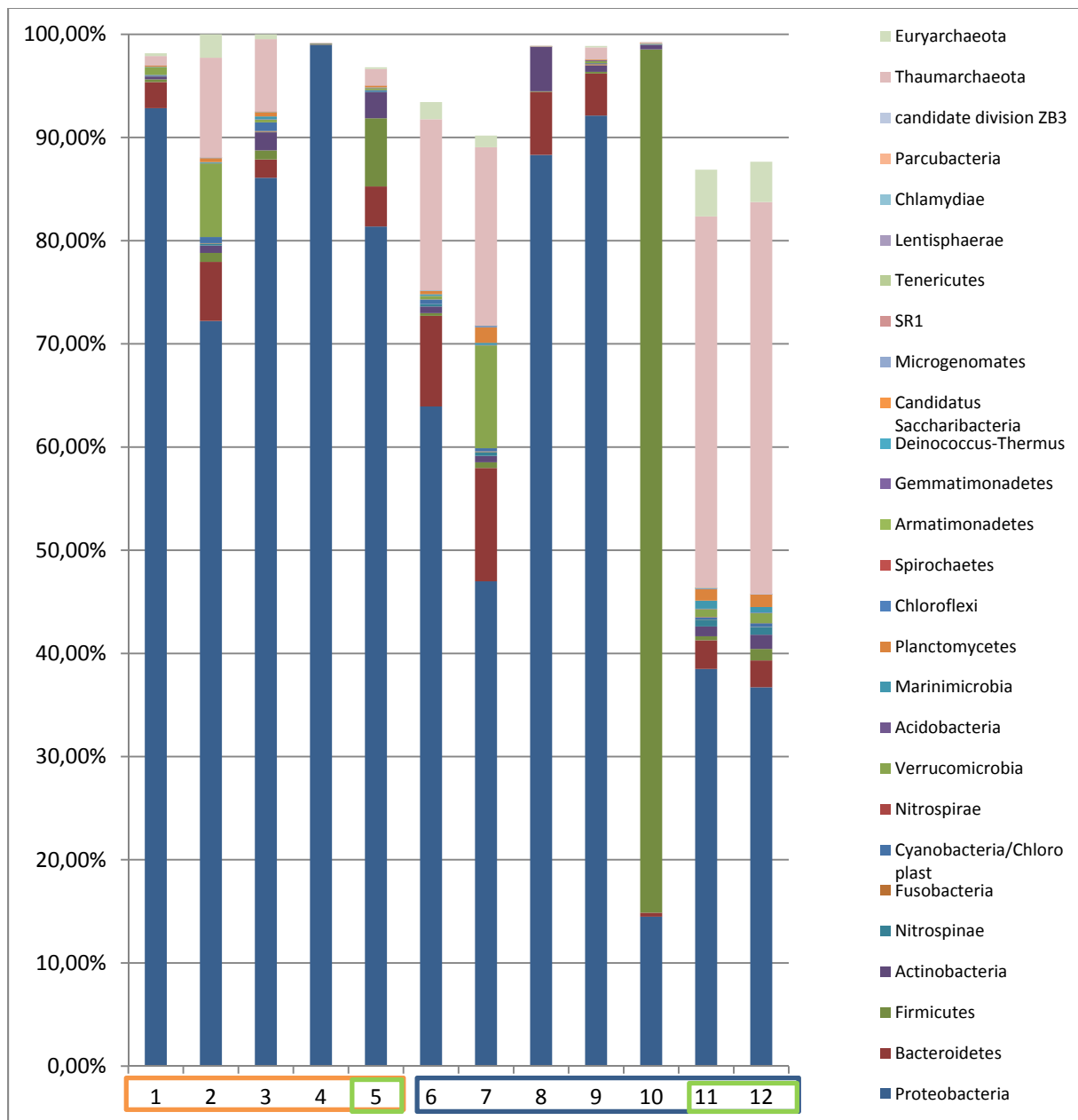
Prøve	antall sekvenser etter filtrering hos Microsynth	gjennomsnittlig lengde (bp)	antall sekvenser kvalitetskontrollert i mothur	Antall rekker
1	101289	295	98511	18
2	64132	296	61981	20
3	80776	295	78598	18
4	55085	296	53271	11
5	71963	296	69498	14
6	58851	295	57260	17
7	86705	299	80731	21
8	88954	295	87038	13
9	84090	296	81111	17
10	80240	294	78514	15
11	95090	295	92703	20
12	98674	295	96259	20
Totalt	965849	296	935.475	
Etter pre.cluster (2 bp forskjell)			400.019	27



Figur 26. Utbredelse av de ulike slekter, målt i antall sekvenser, rangert etter utbredelse (rank-abundance curve).

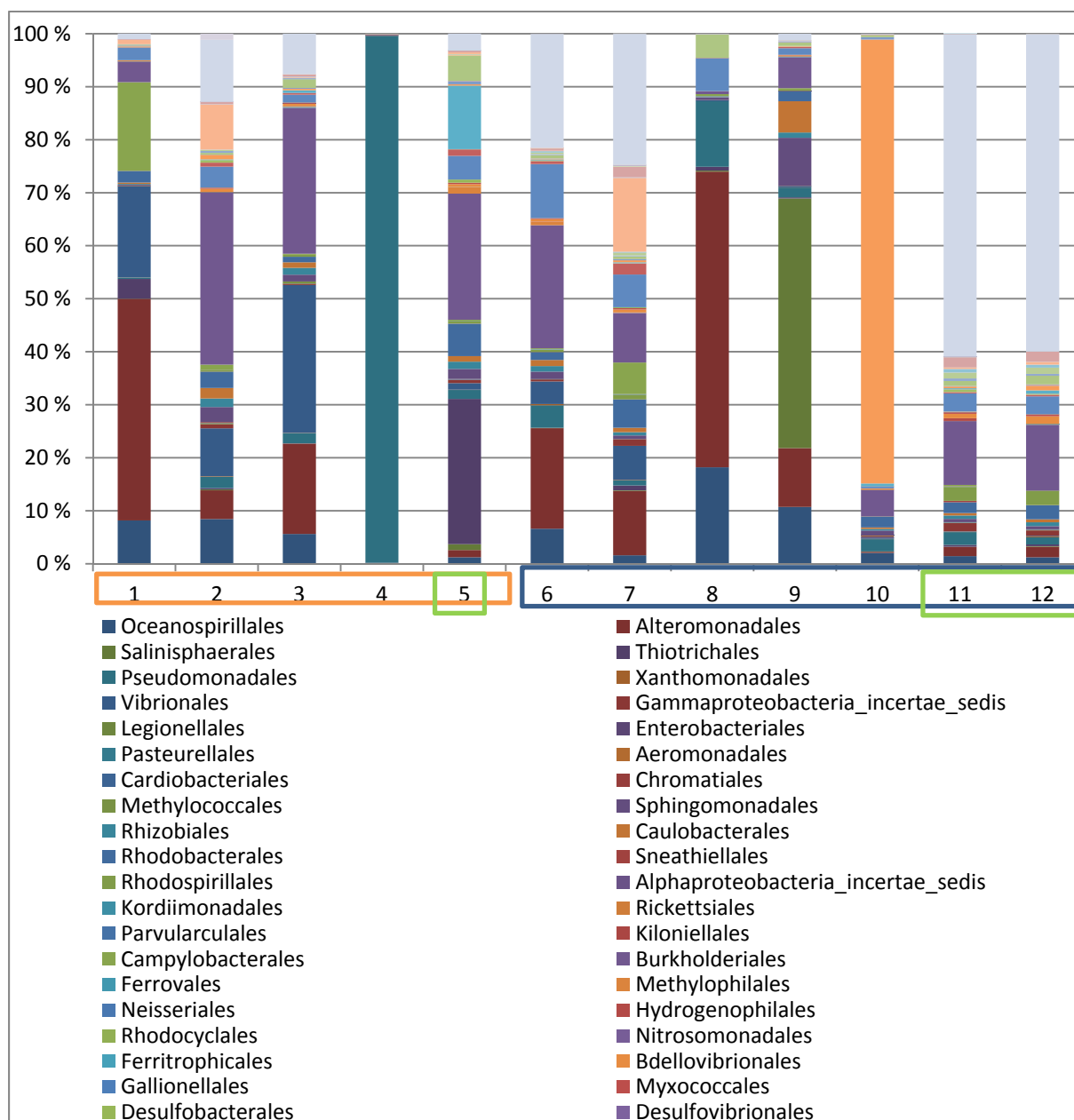
Mellom 87 % og 100 % av sekvensene i hver prøve kunne klassifiseres til rekke (Figur 27). De resterende sekvensene kan tilhøre ukjente arter eller være feil generert i analysen, disse ble ikke analysert videre. Andelen arke- og bakterie-sekvenser varierte stort; i vannet etter vannbehandling hos SWH var så mye som 42 % av sekvensene tilhørende arkedomenet, mens det i karene var 0,1 til 18 % arker. Når alle

prøvene ble sett samlet var den klart største gruppen proteobakterier, og Proteobacteria var den dominerende bakterierekken i alle prøvene unntatt prøven fra artemiakulturen. Det var hovedsakelig gamma- og betaproteobakterier, i tillegg var epsilonproteobakterier viktige i prøve 1 (NK 1-S2 Start Karvann). Artemiakulturen var dominert av Firmicutes, som hadde lav utbredelse i de andre prøvene. Andre Gram-positive rekker som Bacteroidetes og Actinobacteria utgjorde opp til 10 %. Andre viktige rekker var Verrucomicrobium og Planctomycetes.



Figur 27. Bakteriesamfunnet i prøvene på rekke-nivå. 100 % er samtlige sekvenser fra en prøve, kun sekvenser som kunne bli klassifisert (80 % confidence value) er tatt med. Prøver fra NH-NK er markert i oransje, prøver fra SWH-Rørv er markert i blått og vann etter vannbehandling er merket grønt.

Sekvensene tilhørte 83 ordener (Figur 28), og 527 ulike slekter (genus) kunne påvises. De dominerende ordenene var Alteromonadales, Nitrosopumilales, Burkholderiales, Pseudomonadales (hovedsakelig i prøve 4) og Lactobacillales (prøve 10, Artemiakultur) (Fig.28). Disse ordenene, bortsett fra Pseudomonadales, var også de som kunne forklare mest av forskjellene mellom prøvene (BEST analyse, Primer6).



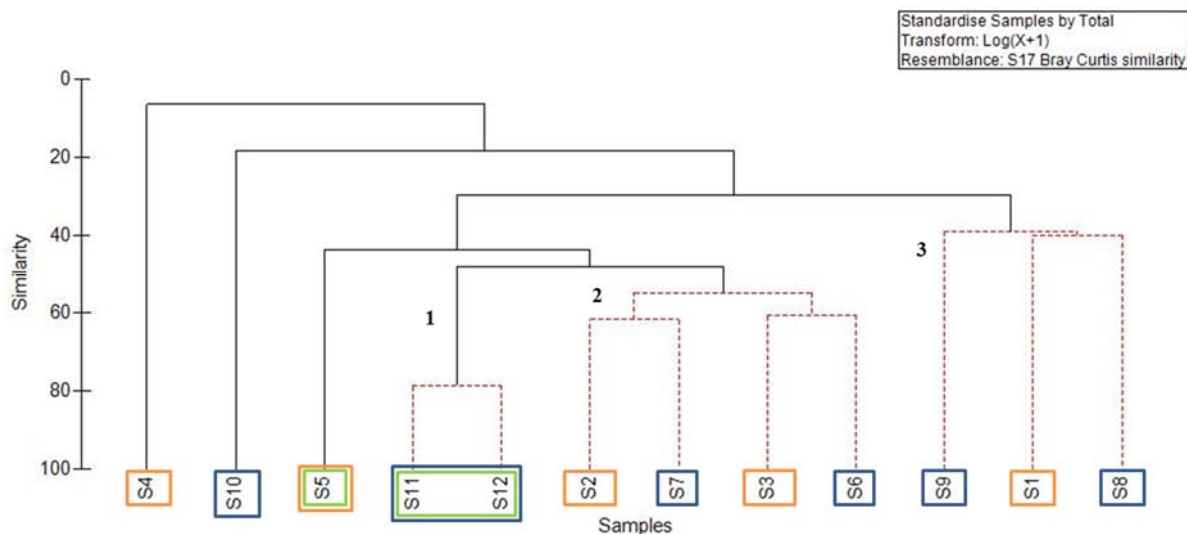
Figur 28. Sekvenser i henhold til orden. Prøver fra NH-NK er markert i oransje, prøver fra SWH-Rørv er markert i blått og vann etter vannbehandling er merket grønt.

Forskjeller og likheter

31 slekter fantes i alle prøvene, men deres relative utbredelse varierte mye mellom prøvene, for det meste uavhengig av hvor prøven var hentet fra. Men noen slekter hadde et tydelig utbredelsesmønster: *Nitrosopumilus* som var den mest vanlige slekten utgjorde 67 % av sekvensene i vann etter vannbehandling hos SWH (prøve 11 og 12), men var betydelig mindre utbredt i karvannet (0,06-32 %). Andre eksempler er *Pseudoalteromonas* og *Marinomonas* som var vanlig i vannet ved starten av begge stadiene (prøve 1, 3, 6 og 8) men utgjorde en mindre del av bakteriesamfunnet ved slutten av stadiet. Dette i motsetning til *Rubritalea* som i tre tilfelle økte i relativ utbredelse fra starten til slutten av stadiet.

Kluster-diagrammet i figur 29 illustrerer likheten mellom de ulike prøvene (Bray-Curtis) og det ble identifisert tre statistisk signifikante grupper (1-3). Gruppe 1 inneholder de to prøvene etter vannbehandling hos SWH, og både gruppe 2 og 3 inneholder prøver fra karvannene hos både NK og SWH. Prøvene som ikke kunne grupperes i denne analysen var fra artemiakulturen (s10), vann etter vannbehandling i NH-NK og en karprøve fra NH-NK, prøve 4. Prøve 4 inneholdt veldig lite DNA, og det kan være en grunn til at den registrerte diversiteten her er svært lav, og til at prøven skiller seg så markant fra de andre prøvene. Det er altså tydelig at verken bakteriesamfunnet etter vannbehandling eller i artemiakulturen har stor betydning for bakteriesamfunnet i karene. At både gruppe 2 og 3 inneholder prøver fra begge anleggene antyder i tillegg at det finnes store fellestrekk ved bakteriesamfunnene i oppdrett av kveite på tvers av geografi. Dette underbygger funn fra ARISA-analysen, presentert i figur 24, som viser at mange av prøvene fra stadium 2 grupperer sammen.

Det ble utført en SIMPER-analyse (Primer6), som identifiserer de taxa som i hovedsak utgjør forskjellene mellom gruppene og likheter innad i gruppene. Karprøvene lignet hverandre hovedsakelig i relativ utbredelse av slektene *Pseudoalteromonas*, *Pelomonas*, *Nitrosopumilus*, *Oleispira* og *Aliivibrio*. Mens vann etter vannbehandling hadde likere relativ utbredelse av slektene *Nitrosopumilus*, *Pelomonas*, *Pseudoalteromonas* og *Aquabacterium*. Forskjellen mellom disse gruppene var hovedsakelig i relativ utbredelse av: *Nitrosopumilus*, *Pseudoalteromonas*, *Psychrobacter*, *Leucothrix* og *Pelomonas*.



Figur 29. Likhet mellom prøvene basert på relativ utbredelse av de ulike slektene (Bray-Curtis similarity). Prøver fra NH-NK er markert i oransje, prøver fra SWH-Rørv er markert i blått og vann etter vannbehandling er merket grønt. Statistisk signifikante grupper etter SIMPROF analyse er markert med røde streker.

Kjente fiskepatogener

Av kjente sykdomsfremkallende eller opportunistiske bakterier er *Vibrio* slekten kanskje den mest kjente. Slekten *Vibrio* var særlig til stede i prøvene fra NH-NK, samt en prøve fra SWH-Rørv (prøve 7). Andre slekter med kjente fiskepatogener/opportunister ble hovedsakelig påvist i prøvene fra SWH, slik som *Tenacibaculum* (prøve 6,7 og 8) og *Pseudomonas* (prøve 8). Slekten *Lactococcus*, som det var mye av i prøve 10, inneholder også opportunistiske fiskepatogener. Disse fire slektene var til stede i alle karprøvene, i ulik konsentrasjon, noe som indikerer at disse er en naturlig del av bakteriesamfunnet også der det ikke forekommer sykdom. En rekke andre slekter som inneholder potensielle patogener/opportunister var til stede i svært lavt antall i noen eller de fleste prøvene: *Streptococcus*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Mycobacterium*, *Photobacterium*, *Francisella*, *Achromobacter*. Disse er sannsynligvis en del av et naturlig samfunn men kan under de rette forholdene øke i antall, med mulige konsekvenser for fiskehelsen (Austin 2011).

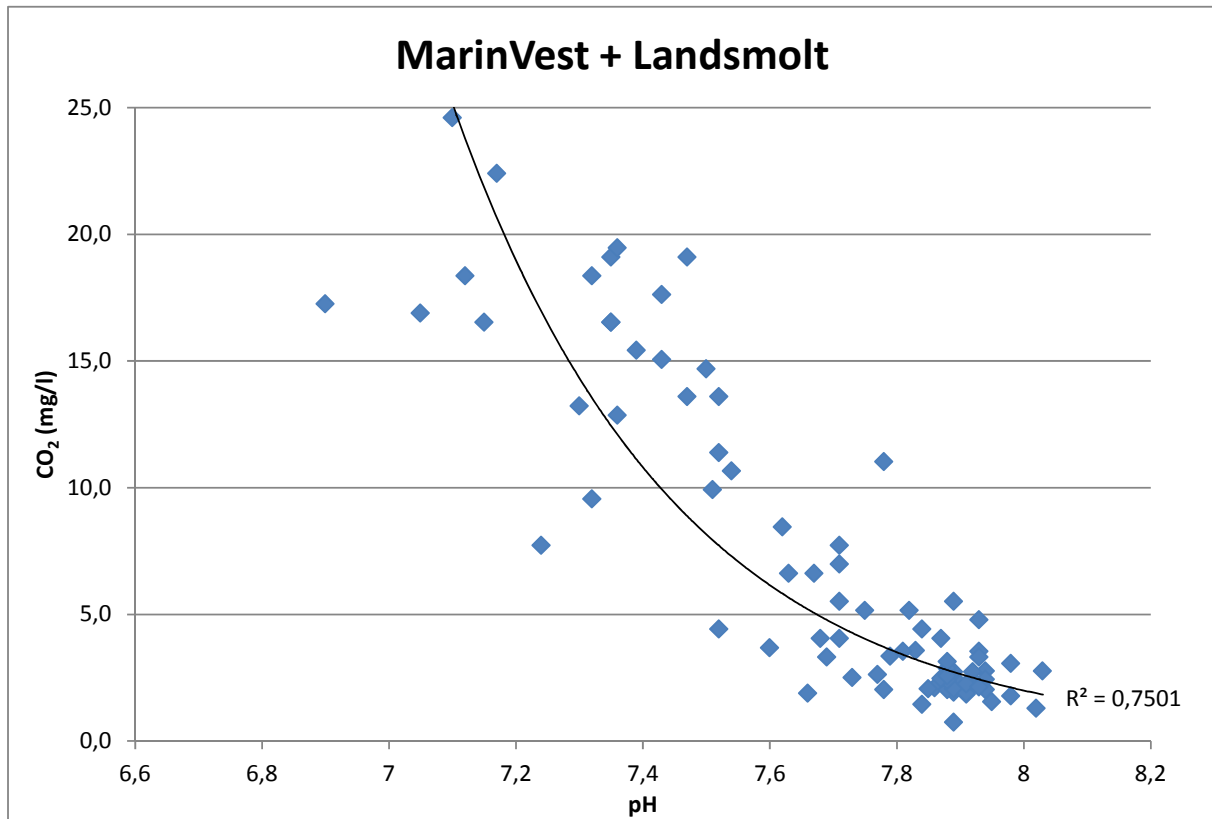
3.1.3 Øvrige målinger og driftsparametre

Som nevnt under pkt. 3.1.1 overestimerer de fleste anleggenes pH-instrumenter noe. For saltholdighet viser resultatene både over- og underestimering i forhold til laboratoriemålingene (Tabell 12). Dette illustrerer viktigheten av jevnlig kalibrering, vedlikehold av instrumentene og standardisert utførelse. I dette prosjektet ville vi også teste om et enkelt kolorimeter (Merck Spectroquant Multy) kunne brukes i overvåking av ulike nitrogenforbindelser. Instrumentet er enkelt i bruk og skulle dermed redusere effekten av forskjellige prøvetakere. Anleggsmålingene av ammonium er relativt sammenfallende med laboratoriemålingene ved konsentrasjoner over 200 µg N/l (metodens nedre deteksjonsområde).

Resultatene viser jevnt over lave verdier under 700 µg N/l som ikke ansees som problematisk for yngelen. Det ble forsøkt å slå sammen nitritt- og nitratmålingene for å kunne sammenlikne med laboratoriets måling av nitritt+nitrat, men dette ga lite sammenfallende resultater. Sannsynligvis forårsaket av mange målinger i et konsentrasjonsområde som var nært deteksjonsgrensen for de respektive metodene.

Marin yngelproduksjon driftes generelt med lav fisketetthet og god vannutskifting. På grunn av dette vil pH-fallet fra inntak til utløp og CO₂ konsentrasjonene i karvannet sjelden være høye. I tillegg reduseres problemer med forhøyede verdier av fritt CO₂ på grunn av sjøvannets gode bufferkapasitet. De aller fleste innsendte prøvene viser lave CO₂ verdier i karvannet (<5 mg/l), noe som er uproblematisk for fiskehelsen. Noen få enkeltmålinger i de senere livsstadiene indikerer forhøyede CO₂ verdier som sannsynligvis er en konsekvens av for liten kapasitet på anlegget. I tillegg ble det målt høye CO₂ verdier (20 mg/l) i en artemiakultur, noe som sannsynligvis ikke er fordelaktig. Måling av fritt CO₂ med instrumenter underestimerer som en generell trend. Årsaken er sannsynligvis unøyaktige instrumenter/metoder og inntil forbedrede metoder finnes kan en skjematisk fremstilling av forholdet mellom pH og CO₂ i karvann benyttes. Dette er en forenkling, men siden de aktuelle prøvene er tatt under realistiske forhold og analysert med en godkjent metode/akkreditert laboratorium kan dette være et godt verktøy (Figur 30).

De rapporterte driftsdataene indikerer lavest overlevelse i stadiet med levendefôr, men også relativ lav klekkeprosent (Tabell 12). I de senere stadiene er det generelt god overlevelse, men hvorvidt dette er et resultat av stort frafall/utsortering i de tidligere stadiene, vites ikke sikkert. Uansett kan det se ut som denne delen av produksjonen driftes godt, men det er sannsynligvis mulig å forbedre både vekst og kvalitet med optimaliserte produksjonsbetingelser, spesielt hvis det oppnås økt overlevelse i de tidlige stadiene. Faktorer som avl og rogn/sperm kvalitet, samt startfôring (levende versus tørrfôr) har nok størst effekt på overlevelse i de tidlige stadiene og økt innsats på disse områdene vil være avgjørende for fremgang innen marin yngelproduksjon. Resirkulering av vannet i de tidlige stadiene er også en metode som kan bidra i denne sammenhengen. Avlsarbeid bør uansett få økt fokus siden dette også kan bidra til å utsette kjønnsmodning av hann kveitene og redusere problemene med ujevn vekst i matfiskproduksjonen.



Figur 30. Sammenheng mellom pH og CO₂ konsentrasjon i fiskekar. Sammenstillingen er basert på målinger fra MarinVest-prosjektet og Landsmolt-prosjektet (hovedsakelig CO₂ verdier over 10 mg/l). I begge tilfeller er det brukt målinger fra NIVAs akkrediterte laboratorium.

Tabell 12. Driftsparametre og målinger foretatt av anleggene sammenstilt med lab-analyser av forskjellige parameter i vannet ved de ulike prøvepunktene iht. stadiene hos a) MHL, b) NH-NK/Hal runde 1 og 2, c) SWH-Rør/Imsl runde 1 og 2, d) SSP og e) ACJ/FG. Åpne felt indikerer manglende data.

a) MHL 1 - Leppfisk		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5		Snitt Differanse
		Klekkeri/plommesekk		Levendefôr		Weaning		Påvekst tørrfôr		Påvekst tørrfôr		
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	
		14.09.11	21.09.11	29.09.11	14.10.11	25.10.11	02.03.12	30.03.12	18.06.12	30.11.12	08.03.13	
pH anlegg/lab	Inntak	7,79/7,87	7,99/7,91	7,92/7,93	8,07/7,94	8,07/7,92	7,98/7,72	7,98/7,89	6,75/7,89	8,06/7,95	7,96/7,96	+0,08
	EVB	7,9/7,90	7,93/	7,97/	8/	7,97/	7,95/	7,97/	6,72/	8,02/	8,02/	
	Kar	7,99/7,86	8,157,92	7,96/7,93	8,04/7,91	8,12/7,89	7,37/7,36	7,497,67	/7,51	7,84/7,75	7,77/7,71	+0,08
CO ₂ anlegg/lab (mg/l)	Kar	/2,1	/2,4	/3,5	/1,8	/2,7	/12,9	/6,6	/9,9	/5,1	2,0/7,7	
Saltholdighet anlegg/lab (PSU)	Inntak	/34,2	/34,8	34,6/34,6	34,7/34,9	/34,5	34,8/34,5	34,9/34,5	/34,9	35,0/34,8	35,3/35,0	+0,2
	Kar	/34,3	/34,8	34,7/34,7	34,8/34,9	/34,5	34,8/34,6	34,7/34,6	35,0/34,9	35,3/34,7	/34,9	+0,1
NH ₄ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	UR/5	UR/42	UR/61	UR/88	UR/49	610/680	490/505	730/604	250/245	290/306	+6
NH ₃ beregnet fra lab (µg N/l)	Kar	0,05	0,42	0,79	1,08	0,59	2,05	2,84	2,54	1,90	1,74	
NO ₂ + NO ₃ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	90/170	90/112	128/159	138/129	130/157	220/1192	150/133	103/268	200/147	160/135	-25
Alkalitet lab (mmol/l)	Inntak	2,415	2,446	2,422	2,430	2,407		2,397	2,363	2,409	2,387	
	EVB	2,418										
	Kar	2,395	2,430	2,440	2,450	2,436		2,458	2,396	2,433	2,348	
Antall	Kar	700 000	500 000	950 000	450 000	150 000	130 500	38 000	37 700			
Størrelse	Kar		3,9 mm	4 mm	6,3 mm	8,5 mm	2,6 g	6,1 g	11 g			
Overlevelse (%)	Kar		71		47		87		99			
Vannforbruk (l/min)	Kar		15	42	63	82	299	229	265			

b) NH-NK/Hal 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3			Stadium 5 NH-Hal			Snitt Differanse
		Klekkeri/plommesekk		Levendefôr		Weaning			Påvekst			
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Mellom	Slutt	Start	Mellom	Slutt	
		29.04.11	10.06.11	20.06.11	15.08.11	22.08.11	11.10.11	02.11.11	15.12.11	27.03.12	02.05.12	
pH anlegg/lab	Inntak	8,09/7,89	8,01/7,85	8,05/7,85	8,09/7,78	8,07/7,89	8,29/7,93	8,40/7,98	8,10/7,88	8,10/7,86	8,10/7,84	+0,26/+0,24
	EVB	8,02/	7,96/	7,97	8,08	8,04	8,26	8,30				
	Kar	7,92/7,52	7,95/7,88	7,94/7,90	8,04/7,78	7,85/7,82	8,11/7,83	8,27/7,89	7,97/7,69	7,95/7,85	7,94/7,60	+0,21/+0,24
CO ₂ lab (mg/l)	Kar	4,4	2,9	2,2	2,0	5,1	3,6	1,9	3,3	2,1	3,7	
Saltholdighet anlegg/lab (PSU)	Inntak	34,4/34,6	34,8/34,6	35,0/34,5	34,8/34,4	34,8/34,1	33,7/34,1	34,6/	30,7/33,0	30,3/32,9	30,3/34,1	+0,2/-2,9
	Kar	31,8/31,0	34,8/34,6	35,0/34,4	35,2/34,4	35,1/34,1	33,8/34,1	34,2/	30,7/33,1	30,3/32,9	30,3/34,1	+0,5/-2,9
NH ₄ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	480/343	UR/9	UR/26	UR/35	110/103	UR/140	110/99	210/113	200/134	200/240	52/41
NH ₃ beregnet fra lab (µg N/l)	Kar	0,88	0,05	0,22	0,24	0,75	0,98	0,90	0,49	0,73	0,74	
NO ₂ + NO ₃ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	70/155	100/170	60/158	150/176	160/160	130/129	60/74	12/85	6/102	10/99	-42/-86
TGP anlegg (%)	Inntak	100	-	102	101	102	102	100	100	96	98	
	EVB	105	-	93	93	94	93	92	100	98	98	
	Kar	99	97	97	98	94	94	90	103	104	102	
Alkalitet lab (mmol/l)	Inntak	2,410	2,380	2,367	2,371	2,392	2,398	2,374	2,337			
	Kar	2,210	2,393	2,375	2,380	2,390	2,413	2,389	2,353			
Antall	Kar	105 000	45 000	45 000	15 000	9 850		6 840	6 559	6 230	6 116	
Størrelse	Kar				0,2 g	0,3 g	2,5 g	5,1 g	7,2 g	21 g	28 g	
Overlevelse (%)	Kar		43		33			69			93	
Vannforbruk (l/min)	Kar	8	12	20	50	8	20	100	60	60	60	

NH-NK/Hal 2 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 NH-Hal		Snitt Differanse
		Klekkeri/plommesekk		Levendefôr		Weaning		Påvekst		Påvekst		
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	
		20.08.12	21.09.12	26.09.12	20.11.12	05.12.12	31.01.13	19.02.13	08.04.13	22.04.13	30.09.13	
pH anlegg/lab	Inntak	8,06/7,88	/7,94	8,08/7,66	8,37/7,98	8,08/8,02	/7,87	8,13/7,96	8,07/7,95	8,15/8,02	8,10/7,91	+0,22/+0,16
	EVB	8,19/	8,04/	8,05/	8,36/	8,09/	-	8,10/	8,06/			
	Kar	8,22/7,91	8,04/7,94	8,05/7,73	8,29/7,88	8,09/7,94	/7,71	7,90/7,77	7,91/7,87			+0,18/+0,20
CO ₂ lab (mg/l)	Kar	2,0	2,8	2,5	2,0	2,4	4,0	2,6	4,0	4,8	3,5	
Saltholdighet anlegg/lab (PSU)	Inntak	34,4/34,0	31,6/34,2	31,5/34,1	30,9/33,5	30,7/32,5	/33,6	34,0/33,6	34,8/34,3	28,7/32,8	28,8/33,5	-1,2/-4,4
	Kar	/34,1	31,7/34,2	31,4/34,0	31,1/33,3	30,7/32,6	/33,4	34,3/33,8	34,9/34,3	28,7/32,7	28,8/33,5	-1,4/-4,4
NH ₄ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	UR/10	UR/11	UR/20	UR/37	120/95	-/185	160/184	120/92	UR/129	100/194	7/-94
NH ₃ beregnet fra lab (µg N/l)	Kar	0,06	0,07	0,11	0,32	0,85	0,98	1,13	0,70	0,74	1,05	
NO ₂ + NO ₃ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	90/143	126/141	161/125	140/87	UR/66	-/100	103/124	138/160	UR/94	100/150	-15/-50
TGP anlegg (%)	Inntak	100	-	99	99	100	-	99	100	100	98	
	EVB	106	-	96	100	99	-	99	100	100	100	
	Kar	104	-	96	100	99	-	98	99	97	92	
Antall	Kar	75000	44000	44000	15000	9000	5000	6500	6486	5712	5434	
Størrelse	Kar				0,1 g			4 g	12,7 g	9 g	27 g	
Overlevelse (%)	Kar		59		34		56		99,8		95	
Vannforbruk (l/min)	Kar	11	12	25	50	8	20	60	100	60	60	

c) SWH-Rørv/Imsl 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 SWH-Imsl		Snitt Differanse
		Klekkeri/plommesekk	Levendefør	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	
		18.07.11	05.09.11	05.09.11	07.11.11	12.10.12	06.11.11	08.11.11	08.11.11	13.03.12	29.05.13	
pH anlegg/lab	Inntak	7,86/7,88	7,89/7,96	7,84/7,94	7,87/7,94	7,92/7,97	7,89/8,00	7,83/8,02	7,83/8,04	8,08/7,92	-7,98	-0,10/+0,10
	EVB	7,90/	7,81/	7,85/	7,88/	7,87/	7,78/	7,70/	7,90/	7,85/-		
	Kar	7,83/7,89	7,87/7,98	7,84/7,95	7,86/7,98	7,87/7,91	7,74/8,01	7,70/7,63	7,68/7,93	7,74/7,71	7,53/7,84	-0,11/-0,14
CO ₂ anlegg/lab (mg/l)	Kar	2,1	1,8	1,5	3,0	1,9	20,9	6,6	3,3	-7,5	2/4,4	-2,4
Saltholdighet anlegg/lab (PSU)	Inntak	34,3/35,0	34,7/34,6	34,6/34,5	33,9/33,8	34,7/34,7	34,2/34,1	33,9/33,9	33,9/32,7	33,6/33,6	35,8/34,8	+0,11/
	Kar	34,4/35,0	34,7/34,6	34,6/34,7	33,9/33,9	34,5/34,6	35,2/35,2	33,9/33,8	32,8/32,7	33,6/33,5	35,8/34,8	-0,06/+0,55
NH ₄ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	100/105	190/5	220/11	UR/21	UR/19	3320/345	UR/94	110/115	-460	180/202	+672/-22
NH ₃ beregnet fra lab (µg N/l)	Kar	0,59	0,03	0,10	0,22	0,17	1,56	0,43	1,17	2,03	1,12	
NO ₂ + NO ₃ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	800/150	720/148	1010/149	100/117	780/128	2830/82	UR/106	20/55	280/-	155/170	+780/-133
TGP anlegg (%)	Kar									102,5	97,1	
Alkalitet lab (mmol/l)	Inntak	2,366	2,424	2,424	2,443	2,380	2,350	2,369	2,326	2,337	2,403	
	Kar	2,397	2,423	2,422	2,447	-	2,369	2,445	2,344	2,381	2,420	
Antall	Kar	3,71	15 000	40 000	20 000	30 000		7 000	5 000	42 869	41 370	
Størrelse	Kar	egg	larver	larver	0,12 g	0,12 g		0,25 g	10 g	90 g	464	
Overlevelse (%)	Kar				50				71		96,5	
Vannforbruk (l/min)	Kar	4	7	23	53	33		10	20	550	10000	
SWH-Rørv/Imsl 2 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4		Stadium 5 SWH-Imsl		Snitt Differanse
		Klekkeri/plommesekk	Levendefør	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	
		17.07.12	21.07.12	02.08.12	13.09.12	26.09.12	14.11.12	06.12.12	-	41431	41519	
pH anlegg/lab	Inntak	7,76/7,94	7,81/7,74	7,82/7,75	-7,96	8,03/7,97	8,14/8,00	-7,80		-7,91	-7,94	+0,03/
	EVB	7,83/	7,82/	7,81/		8,02/	8,13/					
	Kar	7,81/7,92	7,73/7,94	7,81/7,88	-8,02	7,97/7,79	8,12/8,03	-7,89		7,36/7,71	7,50/7,68	-0,02/-0,27
CO ₂ anlegg/lab (mg/l)	Kar	2,7	2,0	2,4	1,3	3,3	2,8	5,5		3/7,0	2/4,0	-3,0
Saltholdighet anlegg/lab (PSU)	Inntak	35,0/34,8	35,0/34,8	34,8/34,8	34,1/34,1	34,4/34,8	34,2/34,5	-34,3		33,4/34,1	35,8/33,1	-0,05/+1,00
	Kar	35,0/34,8	34,9/34,7	27,6/28,0	29,6/28,9	34,4/34,7	34,4/34,7	-34,4		33,4/33,4	34,2/32,8	+0,02/+0,70
NH ₄ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	UR/10	UR/<5	UR/276	UR/38	UR/24	UR/12	-525		360/311	290/227	+56
NH ₃ beregnet fra lab (µg N/l)	Kar	0,06	0,03	1,74	0,31	0,16	0,14	4,36		1,35	1,15	
NO ₂ + NO ₃ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	7/130	9/128	108/103	68/116	65/149	17/155	-220		111/237	61/17	-85/+81
TGP anlegg (%)	Kar									102,2	103,5	
Antall	Kar	3 100	995	20 000	10 000	10 000	7 000	7 000		21 126	39 382	
Størrelse	Kar	egg	egg	larver	0,13 g	0,13 g	0,15 g	0,15 g		35 g	773 g	
Overlevelse (%)	Kar		32		50		70					
Vannforbruk (l/min)	Kar	4	7	16	35	30		15		350	10000	

d) SSP 1 - Kveite		Stadium 1		Stadium 2		Snitt Differanse
		Klekkeri/plommesekk	Levendefør	Start	Slutt	
		Start	Slutt	Start	Slutt	
		06.06.12	17.06.12	28.06.12	08.09.12	
pH anlegg/lab	Inntak	7,90/7,85	-7,87	-7,82	-7,88	+0,05
	EVB	7,99/-				
	Kar	7,96/7,87	-7,91	-7,66	-7,93	+0,09
CO ₂ lab (mg/l)	Kar	2,5	2,2	1,9	2,1	
Saltholdighet anlegg/lab (PSU)	Inntak	35,2/34,8	-34,9	-35,0	-34,6	+0,4
	Kar	35,1/34,8	-34,9	-34,2	-34,6	+0,3
NH ₄ lab (µg N/l)	Kar	1351	7	8	<5	
NH ₃ beregnet fra lab (µg N/l)	Kar	8,17	0,05	0,03	0,03	
NO ₂ + NO ₃ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	160/271	-275	-142	-160	-111
Antall	Kar	80 000	40 000	40 000	9 000	
Størrelse	Kar				0,35 g	
Overlevelse (%)	Kar		50		23	
Vannforbruk (l/min)	Kar	10	10	20	20	

e) ACI/FG 1 - Torsk		Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 5 FG		Snitt Differanse
		Klekkeri/plommesekk	Levendefør	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	
		Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	Start	Slutt	
		26.05.11	-	16.06.11	30.06.11	07.09.11	17.10.11	10.01.12	-	
pH anlegg/lab	Inntak	8,09/7,95	-	8,07/7,91	8,05/7,91	8,00/7,88	8,00/7,95	-7,88		+0,12/-
	EVB	8,11/-	-	8,07/-	8,05/-	8,00/-	8,00/-			
	Kar	8,08/7,88	-	8,06/7,89	8,00/7,84	7,90/7,88	7,70/7,78	-7,35		+0,09/-
CO ₂ anlegg/lab (mg/l)	Kar	-2,6	-	-0,7	-1,4	0/3,1	3,0/11,0	-19,1		-5,6/-
Saltholdighet anlegg/lab (PSU)	Inntak	35,0/-	-	35,0/33,5	35,0/34,2	35,0/34,0	35,0/33,9	-33,9		+1,10/-
	Kar	34,0/-	-	34,0/33,5	34,0/34,3	34,0/34,1	34,0/33,9	-34,0		+0,05/-
NH ₄ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	UR/92	-	UR/15	UR/14	UR/88	690/63	-856		
NH ₃ beregnet fra lab (µg N/l)	Kar	0,52		0,11	0,09	0,58	0,33	1,80		
NO ₂ + NO ₃ anlegg/lab (µg N/l)	Kar	110/154	-	110/145	100/158	100/158	120/165	-138		-47/-
TGP anlegg (%)	Inntak			100,0	99,0	100,0	100,0			
	EVB			96,0	97,0	97,0	96,0			
Alkalitet lab (mmol/l)	Kar	98,0	-	98,0	97,0	98,0	97,0			
Antall	Inntak	2,352	-	2,335	2,368	2,379	2,365	2,346		
	Kar	2,352	-	2,336	2,392	2,392	2,412	2,426		
Størrelse	Kar	150000		30000	25000	20000		101000		
Overlevelse (%)	Kar			4 mm	7,5 mm	0,7 g	8,8 g	8,8 g		
Vannforbruk (l/min)	Kar	4		4	80	500	500			

3.2 Opplæringsprogram

Opplæringsprogrammet bestod av et 3 dagers kurs med fokus på teoretisk vannkjemi, praktisk prøvetaking og analyser ved oppstart av prosjektet. Kurset omfattet en teoretisk del som tok for seg de viktigste begrensende vannkjemiske faktorene for marin fisk, og hvordan sammenhengen er mellom disse. Det ble også gitt praktisk opplæring knyttet til prøvetaking, bruk av håndholdte analyseinstrumenter og gjennomgang av protokoller for målinger/analyser som ble utført på anleggene. Ved slutten av hvert år, da dataene og registreringene var ferdig analysert ble det arrangert en samling hvor resultatene ble gjennomgått og sett i sammenheng med innholdet i kurset som ble gitt ved prosjektstart.

Ovennevnte resulterte i generell kompetanseheving ved de enkelte deltagerbedriftene og økt forståelse av vannkvalitet. Underveis i prosjektet har det vært løpende informasjonsutveksling, både angående instrumenter, prosedyrer for vedlikehold/kalibrering og tema knyttet til FoU i egen virksomhet.

3.3 Individuelle anleggsvurderinger

Basert på innsendte og registrerte data ble det gjennomført en befaring av de fleste anleggene. Personell fra hvert anlegg, Ole-Kristian Hess-Erga fra NIVA og en ekstern fagperson (ACJ – Bjørn Olav Rosseland (NIVA/NMBU) og Åse Åtland (NIVA), SWH Rørvik – Yngve Attramadal (SINTEF Fiskeri og havbruk), MHL – Reidar Handegård (ILAB) og NH Norsk kveite – Yngve Attramadal) deltok på befaringen. I etterkant ble det utarbeidet en rapport med en ”diagnose” på vannmiljø og forslag til forbedringer for hvert anlegg (interne rapporter). Hovedresultatene er oppsummert under:

Pumpehus og inntak

Stort sett gode løsninger/utstyr som leverer stabil vannkvalitet og temperatur. De grunne inntakene bør brukes mer for å utnytte temperatur forskjellen i perioder på året/i påvekstfasen. Ett av anleggene bør vurdere oppgradering og inspeksjon av inntaket.

Vannbehandling

Gjennomtenkte tekniske løsninger og rekkefølge på behandlingsenhetene, men likevel variabel effekt av vannbehandlingen. Trinnene bør kontrolleres og optimaliseres med jevne mellomrom (bl.a. vaskerutiner, desinfisering iht. vannkvalitet og bruk av ozon). Varmeveksling med avløpsvannet kan gi reduserte energikostnader.

Gasshåndtering

Vakuumlufthing bidrar til lave TGP-verdier, men anbefaler jevnlig målinger. Ved høye tettheter bør det vurderes karintern utlufthing av CO₂. Suboptimal oksygeninnløsning hos de fleste anleggene og alternativ teknologi bør vurderes. Imidlertid har diffusorene gitt noe CO₂ utlufthing.

Generell røktng

Meget arbeidsintensiv produksjon og mye håndtering nødvendiggjør gode rutiner. Vaskerutiner, barrierer og dedikert utstyr kan forbedres på de fleste anleggene. Stamfisk og eggkvalitet må være god for at optimalisering på vannkvalitetsnivå skal føre til bedre yngelkvalitet. Noe feilestimering ved egne målinger (pH - over, CO₂ - under). Kolorimetrisk analyse av nitrogenforbindelser er usikre i dette konsentrasjonsområdet. Ovennevnte, samt enkelte feilmålinger illustrerer uansett viktigheten av gode målerutiner og vedlikehold av instrumentene. Viktig med god rensing av levendeføret (inneholder mye organisk materiale og bakterier) og god anrikning av artemia. Muligheter for økt yngelkvalitet (høyere overlevelse og bedre vekst) ved innslag (5-10 %) av dypfryste copepoder, levende copepoder eller videredyrket artemia.

Alternativ vannbehandling

Kontrollert rekolonisering med saktevoksende bakterier av behandlet vann (enkelt biofilter med lav substrattilgang). Resirkulering av produksjonsvannet (og levendeførproduksjonen) vil redusere energikostnadene og vannforbruket, samt legge forholdene til rette for et gunstig mikrobielt miljø.

3.4 Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon

All tilgjengelig dokumentasjon fra samtlige anlegg ble analysert og vurdert opp mot relevant vitenskapelig- og «grå» litteratur. Hovedpunktene ble samlet i en egen trykksak «Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon» (ISBN 978-82-577-6615-3) med konkrete råd og anbefalinger.

4. Konklusjon

Bedriftene har deltatt i ulik grad på grunn av de utfordringene marine yngelproduzentene står overfor. For enkelte av deltagerne har det vært store økonomiske- og ikke nødvendigvis biologiske utfordringer i denne 4-års periode som har forårsaket lav deltagelse. Andre deltagere har hatt fremgang i produksjonen, men har nok fremdeles utfordringer med å få til stabil og jevn produksjon. Dette illustrerer kompleksiteten i marin yngelproduksjon. Faktorer som avl og rogn/sperm kvalitet, startfôring (levende versus tørrfôr) og produksjonsform (resirkulering) bør få økt fokus fremover. I tillegg er tidlig kjønnsmodning av hannkveite og ujevn vekst en stor utfordring i matfiskproduksjonen, noe som kanskje kan løses med avl. Uansett er det gjennom prosjektet etablert et godt kunnskapsgrunnlag innen vannmiljø for marin yngelproduksjon og et nettverk der partene vil kunne ha mye nytte av hverandre fremover. Nettverket bør utvides med rognkjeksproduzentene som har kommet for fullt de senere årene. På den måten kan prosjektdeltagerne få et nytt syn på egen drift og rognkjeksproduzentene kan unngå problemene som den øvrige marine næringen har erfart.

4.1 Overvåkingsprogram

Samlet sett viser vannkvalitetsresultatene fra overvåkingsprogrammet relativt stabile konsentrasjoner av de målte parameterne. Vannkvaliteten og mengden avfallsprodukter varierer naturlig i henhold til stadium, larve- og fiskestørrelse og rensetiltak. Selv om enkelte parametere varierte noe i løpet av overvåkingsperiodene var vannkvaliteten jevnt over god for alle anleggene. Samtidig indikerer enkelte av resultatene fra inntaksvannet nokså store sesongvariasjoner og geografiske forskjeller som påvirkes av inntaksdyp og fjordsystem.

Temperatur, pH og gasser

Temperaturmålingene i inntaksvannet viser relativt stabile temperaturer for de fleste anleggene, men med noe årstidsvariasjon hos enkelte anlegg. pH-målingene (lab) av inntaksvannet viser størst variasjon for de samme anleggene som har størst temperaturvariasjon, ofte sammenfallende med grunnere inntaksdyp. Oksygenmetningen i inntaksvannet varierte mellom 80 og 100 %, uten at dette har betydning for oksygenmetningen i karvannet siden anleggene både lufter inntaksvannet og tilsetter oksygen i karvannet. Mest mulig stabil temperatur og pH er ofte ønskelig da dette vil redusere belastningen på enkelte vannbehandlingstrinn og stabilitet av de nevnte parameterne er ofte sammenfallende med stabil vannkvalitet. Likevel kan det være fordelaktig å utnytte gunstige temperatursjikt og tilpasse inntaksdypet (f.eks. to inntaksdyp) til produksjonssyklusen og sesong.

I karvannet varierer pH naturlig i forhold til tetthet, fôring og vannutskiftning, hvor pH-fallet i karvannet øker utover i produksjonssyklusen. I de fleste tilfeller og anlegg tilsvarer pH-fallet 0,1-0,2 pH enheter som

samsvarer godt med lave CO₂-verdier. Hvilke grenseverdier for CO₂ som er riktig å bruke for de representerte artene vites ikke, men hvis man legger undersøkelser for laksesmolt til grunn, kan de høyeste registrerte verdiene skape problemer også for marine fiskearter. Det antas at hyppige og brå svingninger vil være mer problematisk enn en gradvis økning i CO₂-konsentrasjonen, og når høy CO₂-konsentrasjon forekommer i kombinasjon med andre stressorer. Anleggene bruker forskjellige metoder for oksygeninnløsning uten at det nødvendigvis har noe å si for oksygenmålingene i karavløpet, men fordelingen internt i karet kan i stor grad påvirkes av innløsningsmetode. De fleste oksygenmålingene indikerer verdier mellom 80 og 100 % metning, noe som er innenfor Mattilsynets retningslinjer. Enkelte anlegg har i perioder langt over 100 % metning i karavløpet og i tillegg er det observert oksygenskyer i enkelte kar. Slike høye verdier anbefales ikke og kan være skadelig for fisken. Forhøyet totalt gasstrykk (TGP) er en faktor som i enkelte tilfeller har ført til høy dødelighet, både for lakseyngel og marine fisk. De aller fleste deltagerne gjennomfører vakuumlufing av vannet før innløp til kar og på denne måten reduseres risikoen for et forhøyet TGP, men det ble registrert enkelte tilfeller med overmetning. En svak overmetning kan føre til gassbobler i fisken og spesielt for kveite er det rapportert skadelig bobledannelse i og rundt øynene ved forhøyet oksygenmetning (TGP er da ofte > 100 %) i karvannet. Det kan derfor se ut som karvannet ikke bør ha et TGP over 100 % selv om overmetningen forårsakes av høyt oksygentrykk. For å unngå dette bør TGP måles jevnlig både før og i fiskekarene, samt at oksygeneringen holdes på et nivå som ikke forårsaker et forhøyet TGP i fiskekarene.

Metaller

Konsentrasjonen av aluminium i vannet var gjennomgående lave med noen få unntak: i inntaksvann hos ett av anleggene (opp til 43 µg/l) og i karvannet hos ett av anleggene (opp til 115 µg/l). Gjelleverdiene for aluminium var lavest hos leppefisken og gjennomgående høyere for kveite enn for de øvrige artene. Dette kan ha noe med gjellekarakteristika hos kveiteyngel å gjøre, eller det kan skyldes miljøet. Ved et av påvekstanleggene var gjelleverdiene 2-5 ganger høyere enn de øvrige kveiteanleggene og oppe i en konsentrasjon på 53,7 µg/g gjelle t.v. i gjennomsnitt. Tilsvarende nivåer av gjellealuminium hos laksefisk ville kunne forårsake fysiologiske effekter, men ikke være akutt dødelige.

Kobber er giftig for fisk ved lave konsentrasjoner, men giftigheten avtar med økende hardhet i vannet. De fleste anleggene hadde ved enkelte målepunkter kobberkonsentrasjoner utover normale bakgrunnsnivåer på ≤2 µg/l. Gjelleprøvene viste at kveite (påvekst) hadde forhøyede gjellenivåer av kobber (snittverdi 5,2 og 5,7 µg/g gjelle t.v.).

Det ble og målt enkelte høye sinkverdier i vannet (opp til 57 µg/l) og enkelte høye sinkverdier på kveitegjeller (opp til 200 µg/g gjelle t.v.). Det er lite trolig at disse nivåene er skadelige for yngelen, men erfaringer og forsøk utført ved Austevoll Havbruksstasjon viste at slike konsentrasjonsnivåer i vann kan ha stor effekt på klekkeprosent hos kveite. I dette tilfelle var den høye sinkkonsentrasjonen forårsaket av

korrosjonsbeskyttelsen av pumper med sinkanoder som førte til lekkasje av sink til vannet. Oppfølgende forsøk viste hemming av klekking på så lave konsentrasjoner som 12,5 µg Zn/l i vannet.

For jern var nivåene stort sett lavere enn det som kan være problematisk i både i vann (<3 til 68 µg/l) og gjeller (113,2 til 265,4 µg/g gjelle t.v.).

Partikulært materiale

Partikkelanalysene indikerer generelt lave verdier i inntaksvannet og generelt høyere konsentrasjon i karvannet enn i de øvrige prøvepunktene for alle anleggene. De observerte partikkelnivåene i karvannet er uansett stort sett lave og vil ikke påvirke yngelen negativt. Det kan og observeres en økning fra inntaksvann til EVB i en rekke tilfeller (basert på TSS resultatene). Dette er ikke ønskelig og indikerer variabel effekt av partikkelfjerningen og muligens støtvis utslipp av partikulært materiale fra filtreringsenhetene eller «knusing og aggregering» av partikler i samme enhet.

Mikrobiologi

Bakterieantallet varierer nokså mye både mellom prøvepunktene (inntak, etter vannbehandling og i karvannet) og over tid/stadium. En slik variasjon er naturlig, spesielt i inntaksvannet og i karvannet, men store variasjoner i CFU etter vannbehandlingen kan tyde på varierende desinfiseringseffekt. CFU resultatene indikerer variabel og stort sett liten effekt av vannbehandlingen på de dyrkbare bakteriene for alle anleggene utenom ett. Totaltellingene og DNA resultatene indikerer derimot en vannbehandlingseffekt på alle anleggene.

Totaltellingene av alger indikerer stort sett liten variasjon mellom de ulike prøvepunktene ved samme dato, men relativt stor sesongvariasjoner (lite alger senhøst og vinter) og innslag av fôrorganismer i karvannet. Det kan derfor se ut som vannbehandlingen ikke er effektiv mot alger, men på den andre siden ser det heller ikke ut som algene i inntaksvannet deler seg og vokser i karvannet. Mikroskopieresultatene viser generelt en del detritus, få arter, mange skadede alger, og høyere diversitet i sene stadier og ved «grunne» inntak. Resultatene viser og enkelte høye forekomster av sopplignende celler og trådformede blågrønnalger. Hvorvidt slike forhold førte til økt dødelighet vites ikke, men de rapporterte dødelighetsdataene indikerer ikke en sterk sammenheng.

Diversiteten (mangfold) av bakterier varierte mye (mellom 5 og 152 ulike «Operational Taxonomic Units» (OTU ~ art) i de forskjellige prøvene. Gjennomsnittlig antall OTUer i inntaksvannet (81 ± 29) var høyere enn antallet etter vannbehandling (37 ± 29). Inntaksvannet var i tillegg bemerkelsesverdig homogent mellom anleggene (foruten ett av anleggene) på tross av at prøvene var tatt fra ulike årstider og på forskjellig sted. Forskjellen i OTUer mellom inntaksvannet og EVB viser at vannbehandlingen hadde en signifikant effekt på diversiteten i vannet og at desinfiseringen ødelegger en rekke bakteriearter (gjør DNAet utilgjengelig for kopiering). Hvorvidt de gjenværende bakteriene drepes av behandlingen vites ikke

med sikkerhet, men CFU resultatene indikerer at en rekke bakterier overlever. Uansett øker diversiteten igjen i karvannet (52 ± 25 OTU), med bakterielle bidrag både fra fisken, fôret og det som slipper gjennom desinfiseringen av det tilsatte vannet. Bakteriesamfunnet i karvannet kan inkludere både skadelige (bl. a. patogene og opportunist) og fordelaktige bakterier (utfører viktige prosesser). Det er ikke slik at høy eller lav diversitet nødvendigvis sier noe om miljøet er bra eller dårlig. Høy diversitet og stabile forhold sees ofte på som fordelaktig siden de etablerte bakterieartene konkurrerer effektivt mot eventuelle inntrengere og hindrer etablering og oppblomstring.

Bakteriesamfunnet i karene med larver/fisk i stadium 1 (klekkeri/plommesekk) og 2 (levendefôr) er av særlig interesse siden disse stadiene er assosiert med høyest dødelighet. Det kan ha mange årsaker, og en av disse kan ligge i bakteriesamfunnet. At yngel i stadium 2 er avhengig av levendefôr er også ventet å påvirke bakteriesamfunnet i stor grad. Resultatene viser at bakteriesamfunnet endrer seg markant for de fleste anlegg mellom stadium 1 og 2. Samtidig grupperer prøven fra start og slutt i samme fase ofte sammen, noe som kan bety stabile forhold. Det kan og observeres relativt stor likhet mellom to prøver i stadium 1 som representerer to ulike fiskearter (torsk og kveite), men i stadium 2 er forskjellene større da effekten av fôrorganismene og kanskje fiskeartene gjør seg gjeldende. Forskjellene mellom stadium 1 og 2 skyldes at prøvene er tatt fra nokså ulike system, hvor stadium 1 (klekkeri/plommesekk) driftes med relativt liten organisk belastning og stadium 2 (levendefôr) med høyere organisk belastning. I tillegg tilføres det bakterier assosiert med levendefôret i stadium 2, og i de fleste tilfellene vil nok bakteriesamfunnet i levendefôret versus karvannet avvike på hvilke arter som dominerer (færre i levendefôrproduksjonen) og ikke på antall totale arter i prøven.

Masse-sekvensering ble utført på 12 prøver fra to anlegg (begge kveite) som ble benyttet til; a) beskrive bakteriesamfunnet i de to anleggene taksonomisk, b) identifisere forskjeller og likheter mellom prøvene/anleggene/prøvepunktene og c) se på forekomsten av kjente potensielt patogene organismer. Mellom 87 % og 100 % av sekvensene i hver prøve kunne klassifiseres til bakterierekke. Andelen arke- og bakterie-sekvenser varierte stort; i vannet etter vannbehandling hos ett av anleggene var så mye som 42 % av sekvensene tilhørende arkedomenet, mens det i karene var 0,1 til 18 % arker. Når alle prøvene ble sett samlet var den klart største gruppen proteobakterier, og Proteobacteria var den dominerende bakterierekken i alle prøvene (utenom artemiakulturen). Det var hovedsakelig gamma- og betaproteobakterier, i tillegg var epsilonproteobakterier viktige i en av prøvene. Sekvensene tilhørte 83 ordener og 527 ulike slekter (genus) kunne påvises. De dominerende ordenene var Alteromonadales, Nitrosopumilales, Burkholderiales, Pseudomonadales (hovedsakelig i en av prøvene) og Lactobacillales (Artemiakulturen). Disse ordenene (bortsett fra Pseudomonadales) var også de som kunne forklare mest av forskjellene mellom prøvene. 31 slekter fantes i alle prøvene, men deres relative utbredelse varierte mye mellom prøvene, for det meste uavhengig av hvor prøven var hentet fra. Men noen slekter hadde et tydelig utbredelsesmønster: *Nitrosopumilus* som var den mest vanlige slekten utgjorde 67 % av sekvensene i vann etter vannbehandling hos ett av anleggene, men var betydelig mindre utbredt i karvannet (0,06-32

%). Andre eksempler er *Pseudoalteromonas* og *Marinomonas* som var vanlig i vannet ved starten av begge stadiene, men utgjorde en mindre del av bakteriesamfunnet ved slutten av stadiet. Dette i motsetning til *Rubritalea* som i tre tilfeller økte i relativ utbredelse fra starten til slutten av stadiet. Sekvenseringsresultatene ble klustret for å illustrere likheten mellom de ulike prøvene (Bray-Curtis) og det ble identifisert tre statistisk signifikante grupper. Gruppe 1 inneholdt to EVB-prøver og både gruppe 2 og 3 inneholdt prøver fra karvannet hos begge anleggene. Prøvene som ikke kunne grupperes i denne analysen var fra Artemia-kulturen, en EVB og en karvannsprøve. Sistnevnte inneholdt veldig lite DNA, og det kan være en grunn til at den registrerte diversiteten her er svært lav, og til at prøven skiller seg så markant fra de andre prøvene. Det er altså tydelig at verken bakteriesamfunnet etter vannbehandling eller i artemiakulturen har stor betydning for bakteriesamfunnet i karene. At både gruppe 2 og 3 inneholder prøver fra begge anleggene antyder i tillegg at det finnes store fellestrekk ved bakteriesamfunnene i oppdrett av kveite på tvers av geografi. Dette underbygger funn fra ARISA-analysen, som viser at mange av prøvene fra stadium 2 grupperes sammen. Karprøvene lignet hverandre hovedsakelig i relativ utbredelse av slektene *Pseudoalteromonas*, *Pelomonas*, *Nitrosopumilus*, *Oleispira* og *Aliivibrio*. Mens vann etter vannbehandling hadde likere relativ utbredelse av slektene *Nitrosopumilus*, *Pelomonas*, *Pseudoalteromonas* og *Aquabacterium*. Forskjellen mellom disse gruppene var hovedsakelig i relativ utbredelse av: *Nitrosopumilus*, *Pseudoalteromonas*, *Psychrobacter*, *Leucothrix* og *Pelomonas*.

Av kjente sykdomsfremkallende eller opportunistiske bakterier er *Vibrio* slekten kanskje den mest kjente. Slekten *Vibrio* var særlig til stede i prøvene fra det eneanlegget, samt en av prøvene fra det andre anlegget. Andre slekter med kjente fiskepatogener/opportunister ble hovedsakelig påvist i prøvene fra ett av anleggene, slik som *Tenacibaculum* og *Pseudomonas*. Slekten *Lactococcus*, som det var mye av i artemiakulturen, inneholder også opportunistiske fiskepatogener. Disse fire slektene var til stede i alle karprøvene, i ulik konsentrasjon, noe som indikerer at disse er en naturlig del av bakteriesamfunnet også der det ikke forekommer sykdom. En rekke andre slekter som inneholder potensielle patogener/opportunister var til stede i svært lavt antall i noen eller de fleste prøvene: *Streptococcus*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Mycobacterium*, *Photobacterium*, *Francisella*, *Achromobacter*. Disse er sannsynligvis en del av et naturlig samfunn men kan under de rette forholdene øke i antall, med mulige konsekvenser for fiskehelsen.

Øvrige parameter

De fleste anleggene har pH-instrumenter som overestimerer noe. For saltholdighet viser resultatene både over- og underestimering i forhold til laboratoriemålingene. Dette illustrerer viktigheten av jevnlig kalibrering, vedlikehold av instrumentene og standardisert utførelse. Anleggsmålingene av ammonium er relativt sammenfallende med laboratoriemålingene ved konsentrasjoner over 200 µg N/l (metodens nedre deteksjonsområde). Resultatene viser jevnt over lave verdier under 700 µg N/l som ikke ansees som problematisk for yngelen. Det ble forsøkt å slå sammen nitritt- og nitratmålingene for å kunne sammenlikne med laboratoriets måling av nitritt+nitrat, men dette ga lite sammenfallende resultater.

De aller fleste innsendte prøvene viser lave CO₂ verdier i karvannet (<5 mg/l), noe som er uproblematisk for fiskehelsen. Noen få enkeltmålinger i de senere livsstadier indikerer forhøyede CO₂ verdier som sannsynligvis er en konsekvens av for liten kapasitet på anlegget. I tillegg ble det målt høye CO₂ verdier (20 mg/l) i en artemiakultur, noe som sannsynligvis ikke er fordelaktig. Måling av fritt CO₂ med instrumenter underestimerer som en generell trend. Årsaken er sannsynligvis unøyaktige instrumenter/metoder og inntil forbedrede metoder finnes kan en skjematisk fremstilling av forholdet mellom pH og CO₂ i karvann benyttes.

De rapporterte driftsdataene indikerer lavest overlevelse i stadiet med levendefôr, men også relativ lav klekkeprosent. I de senere stadiene er det generelt god overlevelse, men hvorvidt dette er et resultat av stort frafall/utsortering i de tidligere stadiene, vites ikke sikkert. Uansett kan det se ut som denne delen av produksjonen driftes godt, men det er sannsynligvis mulig å forbedre både vekst og kvalitet med optimaliserte produksjonsbetingelser, spesielt hvis det oppnås økt overlevelse i de tidlige stadiene. Faktorer som avl og rogn/sperm kvalitet, samt startfôring (levende versus tørrfôr) har nok størst effekt på overlevelse i de tidlige stadiene og økt innsats på disse områdene vil være avgjørende for fremgang innen marin yngelproduksjon. Resirkulering av vannet i de tidlige stadiene er også en metode som kan bidra i denne sammenhengen. Avlsarbeid bør uansett få økt fokus siden dette også kan bidra til å utsette kjønnsmodning av hann kveitene og redusere problemene med ujevn vekst i matfiskproduksjonen.

4.2 Opplæringsprogram

Opplæringsprogrammet har bidratt til generell kompetanseheving ved de enkelte deltagerbedriftene og økt forståelse av vannkvalitet. Deltagerne har fått økt kunnskap om de viktigste begrensende vannkjemiske faktorene for marin fisk, tema knyttet til FoU i egen bedrift og praktisk innblikk i prøvetaking, bruk av håndholdte analyseinstrumenter og protokoller for målinger/analyser.

4.3 Individuelle anleggsvurderinger

Det ble foretatt befaring av fire ulike anlegg (torsk, leppefisk og to kveiteanlegg) med deltagelse av anleggspersonell, forskere fra NIVA og en ekstern fagperson. I etterkant av befaringsene ble det utarbeidet en rapport med en ”diagnose” på vannmiljø og forslag til forbedringer for hvert anlegg (interne rapporter). Denne kritiske gjennomgangen og diskusjoner underveis har bidratt til økt fokus på vannmiljø og identifisering av «flaskehals» hos den enkelte bedrift.

4.4 Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon

Resultatene fra overvåkingsprogrammet og anleggsvurderingene, samt erfaringene fra opplæringsprogrammet ble vurdert opp mot relevant vitenskapelig- og «grå» litteratur, og hovedpunktene ble samlet i en egen trykksak «Håndbok for vannmiljø i marin yngelproduksjon» (ISBN 978-82-577-6615-

3). Denne håndboken er ment å fungere som et lett tilgjengelig oppslagsverk med konkrete råd og anbefalinger.

5. Referanser

- Attramadal, K. J. K., Salvesen, I., Xue, R., Øie, G., Størseth, T. R., Vadstein, O., Olsen, Y., 2012. Recirculation as a possible microbial control strategy in the production of marine larvae. *Aquacultural Engineering*, 46: 27-39.
- Austin, 2011. Taxonomy of bacterial fish pathogens. *Vet Res.* 42, 20.
- Bjerknes, Vilhelm. (2007). *Vannkvalitet og smoltproduksjon* (Første utgave ed.). Norge: Juul forlag. 240 s, ISBN 978-82-8090-018-0.
- Cardinale, M., L. Brusetti, P. Quatrini, S. Borin, A. M. Puglia, A. Rizzi, E. Zanardini, C. Sorlini, C. Corselli, and D. Daffonchio. 2004. Comparison of different primer sets for use in automated ribosomal intergenic spacer analysis of complex bacterial communities. *Appl. Environ. Microbiol.* 70:6147–6156.
- Foss, A., Å. Åtland, H. Hustveit, H. Hovland, A. Øfstie og A.K. Imsland. 2006. Effects of water reuse and stocking density on water quality, blood physiology and growth rate of juvenile cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* 256: 255-263.
- Hess-Erga, O.-K., Blomvågnes-Bakke, B., Vadstein, O., 2010. Recolonization by heterotrophic bacteria after UV irradiation or ozonation of seawater; a simulation of ballast water treatment. *Water Research* 44, 5439-5449.
- Jelmert, A. og Ø. Bergh. 1995. Bruk av sinkanoder kan skape problem i klekkerier for marine arter. *Havforskningsnytt* nr 16 – 1995. ISSN 0804-5496.
- Kristensen, T., Åtland, Å., Rosten, T., Urke, H., Rosseland, B. O. 2009. Important influent–water quality parameters at freshwater production sites in two salmon producing countries. *Aquac. Eng.*, 41:53–59.
- Marie, D., Partensky, F., Vaulot, D., Brussaard, C.P.D., 1999. Enumeration of phytoplankton, bacteria and viruses in marine samples. In: Robinson, J.P., Darzynkiewicz, Z., Dean, P.N., Orfao, A., Rabinovitch, P.S., Stewart, C.C., Tanke, H.J., Wheelless, L.L. (Eds.), *Current Protocols in Cytometry*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 11.11.1e11.11.15.
- Remø, S. C., Erstad, B., Imsland, A. K., Waagbø, R. 2011. Eye health in juvenile Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L., at two commercial production densities. *Aquaculture* 321: 21-25.
- Rosten, T., Urke, H.A., Åtland, Å., Kristensen, T. og Rosseland, B.O. 2007. Sentrale drifts- og vannkvalitetsdata fra VL Laks – undersøkelsene fra 1999 – 2006. *NIVA Rapport*, Lnr. 5352-2007, 16 s. ISBN 82-577-4918-4.
- Skjermo, J., Vadstein, O., 1993. The effect of microalgae on skin and gut bacterial flora of halibut larvae. In: Reinertsen, H., Dahle, L.A., Jørgensen, L., Tvinnereim, K. (Eds.). *Fish Farming Technology*. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, pp. 61–67.
- Vadstein, O., Øie, G., Olsen, Y., Salvesen, I., Skjermo, J., Skjåk-Bræk, G., 1993. A strategy to obtain microbial control during larval development of marine fish. In: Reinertsen, H., Dahle, L.A., Jørgensen, L., Tvinnereim, K. (Eds.). *Fish Farming Technology*. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, pp. 69–75.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no