



<b>Tittel</b>	Miljødokumentasjon Nordmøre. Samlerapport -fase 1.
<b>Redaktør</b>	Astrid K. Woll <sup>5</sup>
<b>Forfattere</b>	Delrapport 1) Otto K. Sandnes og Fredrik R. Staven <sup>1</sup> . Delrapport 2) Yngvar Olsen, Kjersti Andresen, Siv Anina Etter, Øystein Leiknes, Nguyen Thi Mai Thao <sup>2</sup> . Delrapport 3) Øyvind Knutsen, Ole Jacob Broch <sup>3</sup> . Delrapport 4) Frode Staldvik <sup>4</sup> . Delrapport 5) Inge Fossen <sup>5</sup> <sup>1</sup> Aqua Kompetanse AS; <sup>2</sup> NTNU, Institutt for biologi; <sup>3</sup> SINTEF Fiskeri og havbruk; <sup>4</sup> Kunnskapssenteret for laks og vannmiljø; <sup>5</sup> Møreforsking Marin.
<b>Rapport nr.</b>	MA 12-17
<b>Antall sider</b>	148
<b>Prosjektnummer</b>	54636
<b>Prosjektets tittel</b>	Miljødokumentasjon Nordmøre
<b>Oppdragsgiver</b>	FHL Havbruk
<b>Referanse oppdragsgiver</b>	Jon Arne Grøttum
<b>ISSN</b>	0804-54380
<b>Distribusjon</b>	Åpen
<b>Nøkkelord</b>	Oppdrettsnæringa; Havbruk; Nordmøre; miljøeffekter; MOM-C; næringssalter; lakselus; strømmodellering; villfisk, fisk; laks
<b>Godkjent av</b>	Agnes Gundersen, forskningssjef Møreforsking Marin
<b>Godkjent dato</b>	26. september 2012

**Sammendrag** - Det ble i 2010 tatt et initiativ fra oppdrettsnæringen til å etablere et prosjekt for å dokumentere miljøeffektene som følge av oppdrettsaktiviteten på Nordmøre. På vegne av oppdrettselskapene organiserte FHL Midtnorsk Havbrukslag prosessen med å etablere prosjektet. Et viktig mål har vært å utvikle en metodikk for å kvantifisere miljøpåvirkningene. Arbeidet har omfattet fem arbeidspakker: 1) Akkumulering og effekt av organisk stoff på sjøbunnen ble vurdert ved MOM\_C undersøkelser (NS9410) i perioden 2009-2011. Resultatet fra nærsonen til 11 av 14 undersøkte oppdrettslokaliteter viste ingen tegn på organisk belastning i form av økologiske endringer i dyresamfunnet. 2) Utslippene av uorganiske næringssalter fra alle oppdrettsanleggene i regionen ble kvantifisert ved massebalanseanalyse av fôr-inn og fisk ut i perioden mai-september. En effektstudie ble foretatt i samme periode ved ukentlig prøvetaking på to antatt påvirkede lokaliteter (PV) og to med minimal påvirkning (BA). En samlet konklusjon tilsa at kjemisk tilstand og funksjon til det planktoniske økosystemet var fullgod og ikke negativt påvirket. 3) Modellsystemet SINMOD ble brukt for å undersøke spredning av næringssalter (NH<sub>4</sub>-N) og lakselus fra oppdrettslokalitetene. Simuleringen av utslippene viste at NH<sub>4</sub>-N både som passivt sporstoff og aktivt ammonium var høyere ved PV-lokalitetene sammenlignet med BA-lokalitetene og at spredning av lakselus og virus mellom lokalitetene er naturlig grunnet stor vannkontakt. 4) Utviklingen av villaks- og sjøørretbestandene på Nordmøre er beskrevet ved bruk av statistikk. Videre overvåking er anbefalt med bruk av nye miljøindikatorer for genetisk påvirkning og effekter av lakselus på ørret og laks. 5) Påvirkningen som oppdrettsaktivitet har på hvitfisk i regionen er foretatt gjennom kontakt med fiskere, mottak, myndigheter og organisasjoner.

# INNHOOLD

Forord .....	3
Oppsummering .....	4
Summary .....	8
Delrapporter	
1 Akkumulering av organisk materiale på sjøbunn. Otto K. Sandnes og Fredrik R. Staven. <i>Aqua Kompetanse AS</i> . .....	13
2 Utslipp og vurdering av miljøvirkninger av næringsalter tilført fra oppdrett i Nordmøre regionen. Yngvar Olsen, Kjersti Andresen, Siv Anina Etter, Øystein Leiknes, Nguyen Thi Mai Thao. <i>NTNU, Institutt for biologi</i> . .....	27
3 Modellering av strøm og utslipp av næringsalter, lus og virus i Nordmøre. Øyvind Knutsen, Ole Jacob Broch. <i>SINTEF Fiskeri og Havbruk</i> . .....	61
4 Utvikling av villaks og sjøørretbestander på Nordmøre. Frode Staldvik. <i>Kunnskapsenteret for laksefisk og vannmiljø (KLV)</i> . .....	87
5 Effekt på marin villfisk. Inge Fossen. <i>Møreforskning Marin</i> . .....	127

# FORORD

Det ble i 2010 tatt et initiativ fra oppdrettsnæringen til å etablere et prosjekt for dokumentasjon av miljøeffektene som følge av oppdrettsaktiviteten på Nordmøre. På vegne av oppdrettsselskapene organiserte FHL Midtnorsk Havbrukslag prosessen med å få etablert en plan for prosjektet. Et viktig mål har vært å utvikle en metodikk for å kvantifisere miljøpåvirkningene fra oppdrettsvirksomheten på Nordmøre, hvor metodikken også kan ha overføringsverdi for andre regioner. Første fase av prosjektet er nå avsluttet. Arbeidet har omfattet fem arbeidspakker som presenteres i denne samlerapporten:

- 1) Akkumulering av organisk materiale på sjøbunnen.
- 2) Utslipp og vurdering av miljøvirkninger av næringssalter tilført fra oppdrett på Nordmøre.
- 3) Modellering av strøm og utslipp av næringssalter, lus og virus på Nordmøre.
- 4) Villaks og sjøørretbestand på Nordmøre.
- 5) Effekt på marin villfisk.

Prosjektets økonomiske ramme har vært NOK 2,25 mill. hvor 1,05 mill. har vært finansiert av Møre og Romsdal Fylkeskommune gjennom Marint miljøsikring- og verdiskapingsprogram. Resterende midler er finansiert av oppdrettsbedriftene på Nordmøre: Lerøy Hydrotech AS, SalMar Farming AS, Måsøval Fiskeoppdrett AS, Aqua Gen AS, Lerøy Midnor AS og Marin Harvest Norge AS. Halvparten av oppdrettsbedriftenes andel har vært økonomiske tilskudd og den andre halvparten arbeidsinnsats som i hovedsak har vært prøvetaking med innsamling av materiale for bestemmelse av næringssalter og lus, til sammen 22 prøvetaking dager på 4 lokaliteter. Prøvetakere i undersøkelsene var Jan Torseth fra SalMar Farming AS og Bjarne Saltkjelsvik fra Lerøy Hydrotech AS.

En stor takk rettes til Fylkeskommunen og til bedriftene som har bidratt og gjort det mulig å gjennomføre studien av havbruksnæringens mulige påvirkning på miljøforholdene i Nordmøre regionen. En spesiell takk rettes til prøvetakerne for et utmerket arbeid.

Arve Slettvåg fra Møre og Romsdal Fylkeskommune og Anne Melbø fra Fylkesmannen i Møre og Romsdal har vært observatører og deltatt på alle prosjektmøter og ellers bidratt med kunnskap og informasjon. Takk til begge.

Sist, men ikke minst en stor takk til Jon Arne Grøttum fra FHL som var pådriver for å få i gang prosjektet og som har fulgt det opp gjennom prosessen.

Ålesund, 26. september 2012

Astrid K. Woll  
(prosjektleder)

# OPPSUMMERING

Det ble i 2010 tatt et initiativ fra oppdrettsnæringen til å etablere et prosjekt for dokumentasjon av miljøeffektene som følge av oppdrettsaktiviteten på Nordmøre. På vegne av oppdrettsselskapene i regionen, organisert FHL Midtnorsk Havbrukslag prosessen med å få etablert prosjektet. Et viktig mål har vært å utvikle en metodikk for å kvantifisere miljøpåvirkningene fra oppdrettsvirksomheten på Nordmøre. Første fase av prosjektet er nå avsluttet. Arbeidet til nå har omfattet fem arbeidspakker som blir presentert i denne samlerapporten.

## **Akkumulering av organisk materiale på sjøbunn**

Mål for arbeidspakken var å dokumentere akkumuleringen under- og i nærrområdene rundt oppdrettsaktivitet og eventuell effekt av akkumuleringen. Samtidig skulle man utvikle metodikk for å kvantifisere påvirkningen av miljøet og beskrive miljøstatus i de undersøkte områdene. Man valgte å benytte MOM C-metodikk, nedfelt i norsk standard (NS9410-2009). Undersøkelser utført av oppdrettsselskapene i perioden 2009-2011 ble analysert, til sammen nærsone, overgangssone og fjernsone rundt 14 oppdrettslokaliteter. I tillegg ble undersøkelse foretatt på to referansestasjoner. Nærsonen til 11 av de 14 undersøkte oppdrettslokalitetene (fjorder) på Nordmøre viser ingen tegn på organisk belastning i form av økologiske endringer i dyresamfunnet. Sammensetningen av bunnfaunaen i sedimentene ved et oppdrettsanlegg viser seg å være en god metode for å overvåke påvirkningen fra anlegget. TOC kan fra naturens side ofte ha meget høye verdier i områder upåvirket av menneskelig aktivitet og er derfor ingen god parameter for å overvåke organisk belastning fra oppdrettsanlegg. da parameteren kan vise meget stor påvirkning samtidig som bunnfaunaen viser normale forhold, dvs. ingen påvirkning. De 14 undersøkelsene utgjør en verdifull start på en tidsserie i overvåkning av fjordbunnen ved anleggene og i fjordene generelt.

## **Utslipp og vurdering av miljøpåvirkninger av næringssalter tilført fra oppdrett**

Mål for arbeidspakken var å kvantifisere utslippene av uorganiske næringssalter fra oppdrettsanleggene på Nordmøre til vannmassene i Nordmøre regionen. Videre å gjøre en effektstudie for å bestemme om utslippene hadde negative kjemiske og økologiske virkninger på det planktoniske økosystemet i henhold til det europeiske vandirektivet. Utslipet av næringssalter fra hvert av lakseanleggene i regionen ble estimert basert på en massebalanseanalyse av "fôr-inn" og "fisk-ut" i perioden mai-september 2011. De beregnede utslippene av uorganisk N (DIN) og P (DIP) fra anleggene i regionen økte fra mai til august og avtok deretter noe til oktober. De totale utslippene av DIN i august var i størrelse 350 tonn, mens utslippene av DIP var 27 tonn (N:P = 13). Det ble etablert fire stasjoner for prøvetaking der to av stasjonene ble plassert i områder hvor påvirkningen fra oppdrett var antatt å være minimal (BA-stasjoner) og to stasjoner i områder der påvirkningen ble antatt å være maksimal (PV-stasjoner). Det var ingen systematiske forskjeller i vannmassenes temperatur (0 – 10 meter dyp) og salinitet for bakgrunns- og påvirkede stasjoner. Alle målte næringssaltkonsentrasjoner og biomasser av planteplankton (klorofyll  $\alpha$ ) lå klart under grensene som OSPAR-kommisjonen har satt for Norge (2-4  $\mu\text{g}$  litre<sup>-1</sup> av klorofyll  $\alpha$ ). I

Nordmøre regionen var verdiene jevnt  $<1 \mu\text{g}$  klorofyll  $a$  litre<sup>-1</sup>. Næringssaltkonsentrasjonen ble sammenlignet med Hopavågen i Agdenes hvor et gjødslingsforsøk tidligere har identifisert indikatorene og den kvantitative kjemiske og økologiske responsen ved økning i næringssalter. Ved begge BA-stasjonene og PV1-Bremsnesfjorden var næringssalttilførselen lavere enn bakgrunnsverdien målt i Hopavågen. PV2-Reiråklakken som lå nært to til tre større anlegg viste en noe høyere belastning, men denne var ikke signifikant høyere enn bakgrunnen fra Hopavågen ( $P>0,05$ ). PV1 lå også i et anleggstett område, men verdien her var lav. Gjennomsnittbelastningen av DIN for regionen, vurdert på basis av de fire stasjonene, var 95 % av naturlig bakgrunn målt i Hopavågen, men ikke signifikant lavere ( $P>0,05$ ). Konklusjonen støttes av en svært lav midlere konsentrasjon av klorofyll  $a$  og POC, som reflekterer henholdsvis biomasse av planteplankton og biomasse av små planktonarter ( $<200\mu\text{m}$ ). Dette viser at beitekjedene og det planktoniske økosystemet er fullt ut funksjonelt. N:P forholdene i planteplanktonet, bereknet som PON:POP i partikulært materiale, støttet konklusjonen om at DIN var primært begrensende næringssalt for planteplanktonet. P:C og N:C forholdene i planteplanktonet og DIN:DIP forholdet i vannet var i overensstemmelse med denne konklusjonen. Dette indikerte at naturlige kilder av DIN og DIP var langt viktigere kilde for næringssalter enn de antropogene kildene fra oppdrett. Utslipet fra oppdrett hadde et DIN:DIP forhold på  $13 \mu\text{gN} \mu\text{gP}^{-1}$ . Om dette utslippet var en hovedkilde av næringssalter ville det resultere i økte N:P verdier i planteplanktonet og fosfor ville tilslutt begrense planteplanktonet (når  $\text{N:P} > 7,2 \mu\text{gN} \mu\text{gP}^{-1}$ ). Et skifte til P-begrensning ville ha betydd at tilførselene fra oppdrett var en hovedkilde for næringssalter til planteplanktonet. En samlet konklusjon fra undersøkelsene, basert på flere metoder, var at konsentrasjonene av næringssalter, biomassen til planteplanktonet, tilstand vurdert ut fra eksperimentene i Hopavågen og algefysiologiske indikatorer alle tilsa intakte økosystemer (tilstand: *Svært god*). Kjemiske tilstand og funksjonen til det planktoniske økosystemet var følgelig fullgod og ikke negativt påvirket.

### **Modellering av strøm og utslipp av næringssalter, lus og virus**

Det 3D hydrodynamisk-biologiske modellsystemet SINMOD ble brukt til å undersøke spredning av næringssalter ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) og lakselus fra 25 oppdrettslokaliteter på Nordmøre. Utslippene av  $\text{NH}_4\text{-N}$  ble simulert både som passivt sporstoff (dvs. konsentrasjoner uten noen andre egenskaper enn at de fortynnes og forflyttes) i et rent hydrodynamisk perspektiv, og som faktisk ammonium som ble tatt opp av planteplankton. Simuleringene viste at konsentrasjonene av  $\text{NH}_4\text{-N}$ , både i egenskap av passivt sporstoff og som "aktivt" ammonium, generelt var høyere ved to prøvestasjoner (PV1 og PV2) som på forhånd var antatt å være mer påvirket av utslipp fra fiskeoppdrett enn ved to stasjoner (BA1 og BA2) der man antok at påvirkningen var mindre. I tillegg viste modellsimuleringene at konsentrasjonene som følge av utslipp fra fiskeoppdrett var høye ved en stasjon (kalt STN) i Vinjefjorden. Simuleringene med den koblede hydrodynamisk-biologiske modellen viste at både fysiske og biologiske prosesser bidro vesentlig til fortynning og opptak av ammoniumet som ble sluppet ut. Utslippene av lakselus og virus fra hver oppdrettslokalitet på Nordmøre viser at det er betydelig vannkontakt mellom nærliggende lokaliteter og at spredning av smittestoff fra lokalitet til lokalitet derfor er naturlig. I hovedsak går vanntransporten i øvre lag ut av fjordene og nordover med kyststrømmen, men vi ser fra spredningsfigurene at det

også forekommer ikke-intuitiv spredning mot den generelle strømretningen. Dette vil være ekstra viktig om vinteren med kaldere vann som gjør at biologiske prosesser går senere og levetiden blir lengre, ettersom denne spredningen tar litt tid.

### **Utvikling av villaks og sjøørretbestand på Nordmøre**

Målet med arbeidspakken var å få en bedre oversikt over utviklingen av villaks- og sjøørretbestandene på Nordmøre og i hvilke grad oppdrettsnæringen kan ha bidratt til denne utviklingen. Med bakgrunn i eksisterende statistikk er det vanskelig å konkludere på siste ledd i målformuleringen og man har isteden foreslått egnede undersøkelser til å kvantifisere påvirkning fra lakseoppdrett. Alle kommunene på Nordmøre har vassdrag med laks og/eller sjøørret, til sammen 71 såkalte anadrome vassdrag. Direktoratet for Naturforvaltning (DN) har vurdert tilstanden til bestandene for 67 av disse. Det er åpnet for fiske etter laks og sjøørret i 61 av vassdragene og i alle 14 med selvreproduserende bestander av laks. 14 av de anadrome vassdragene har utløp i en av de to nasjonale laksefjordene i regionen. Surna og Driva har begge status som nasjonale laksevassdrag. Møre og Romsdal er det fylket som er hardest rammet av lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* og fire vassdrag på Nordmøre er smittet. Parasitten gir stor ungfiskdødelighet og har redusert den samlede smoltproduksjonen i regionen. Parasitten gjør at DN har karakterisert bestandene der som svært dårlig. Fem laksevassdrag i regionen er negativt berørt av vassdragsregulering. Rømt oppdrettslaks er påvist både i sjøfangster og i vassdrag. Ved en overvåkingsstasjon på ytre kyst består omkring halvparten av fangstene av rømt oppdrettslaks. Observasjoner av mye rømt oppdrettslaks i Driva og Surna gjør at DN har vurdert alle de 14 selvproduserende laksevassdragene i regionen som sårbare og med restandeler av villaks på mellom 50 og 75 %. Vurderingen er gjort på bakgrunn av modeller og er ikke verifisert med genetiske analyser i de ulike vassdragene. Det mangler systematiske lakselusundersøkelser i regionen. Resultater fra mindre undersøkelser i Sunndalsfjorden i 2008 og 2009 antydte imidlertid at infeksjonene i 2008 var på et slikt nivå at både individ og populasjoner kunne påvirkes negativt. I den nasjonale lakselusovervåkingen i 2011 ble det konkludert med at laksesmolten, i det minste den tidligvandrende, sannsynligvis unnsnapp smittepulser av lakselus. Rapporterte sjøørretfangster fra regionen var seks ganger høyere i toppåret 2000 enn i 2011. Dette synes å være en sterkere tilbakegang enn andre regioner. Kvalitetssikret overvåking av andel rømt oppdrettslaks og overvåking ved hjelp av genetiske metoder bør settes i gang så raskt som mulig. Slik overvåking kan dokumentere om rømt oppdrettslaks reduserer lakseproduksjonen i vassdragene i regionen. Lakselusmitte er foreslått som en negativ påvirkningsfaktor og bør overvåkes. Vi anbefaler at ny overvåking gjennomføres i tråd med Taranger med flere (2012) sine nylig fremlagte forslag til førstegenerasjons målemetoder for miljøeffekter (miljøindikatorer) og hvor metoder for varslingsindikatorer og verifiseringsindikatorer for både genetiske påvirkning og effekter av lakselus på anadrome laksebestander er foreslått.

### **Effekt på marin villfisk**

Målet med arbeidspakken var å beskrive hvilke påvirkninger oppdrettsaktivitet har på hvitfisk (marin villfisk) i regionen. Dette er gjort gjennom kontakt med fiskere, mottak, myndigheter og organisasjoner. Videre er fiskeaktivitet i nærheten av oppdrettsanlegg registrert for å kunne gi en første indikasjon om omfanget av dette. Redusert kvalitet

hos hvitfisk synes ikke å være et betydelig problem for kystfiskerne på Nordmøre. Meldte problemer er av lokal karakter, og omfanget synes å være redusert de siste årene. Mønstrer støttes av ulike aktører som kjenner kystfisket godt. På Nordmøre foregår det et direkte fiske opp mot oppdrettslokaliteter. Turistfiskere dominerer dette, men resultatene tyder på at det ukentlig leveres fisk fra yrkesfiskere som er fisket tett opp mot flere av oppdrettslokalitetene i regionen. Dette underbygger antagelsen om at kvalitetsreduksjonen i villfisk synes å være et begrenset problem på Nordmøre. Arealbeslag og usikkerhet knyttet til mulige påvirkninger synes langt på vei å være en større utfordring for yrkesfiskerne i regionen.



# SUMMARY

In 2010, the aquaculture industry took an initiative to establish a project documenting the environmental effects which are a result of the aquaculture activities in Nordmøre. On behalf of the aquaculture companies in the region, FHL Mid-Norway Aquaculture organised the process to establish the project. An important goal for the project was to develop the methodology to quantify the environmental impacts from the aquaculture activities. The first phase of the project is now complete. The work up until now has consisted of five work-packages which are presented in this report.

## **Accumulation of organic material on the sea floor**

This project's objective is to document the accumulation of organic matter in sediments surrounding the areas around the fish farms and aquaculture activity establishments. At the same time enhance and develop methods for quantifying the impact on the environment and describe the environmental status in the surveyed areas. Surveys were conducted by mariculture production firms in the area, during the period between 2009-2011. Method for environmental surveillance and observation of mariculture production was described in the Norwegian Standard (NS9410-2009) and referred to as (MOM-C). 14 production sites and localities were examined by taking samples from each site. In addition, samples were taken from transitional points and control samples were taken from tow referential points in the area.

The results show that 11 of 14 surveyed production sites (fjords) in Nordmøre shows no significant signs for organic load in terms of ecological changes in the benthic community. The 15 studies represent a valuable start to a possible time-series monitoring of the sea bottom at the areas around mariculture production sites specifically, and the fjords in general. Monitoring the composition of benthic fauna in the sediments beneath fish farms cages is a good method for monitoring the impact on the benthic environment from mariculture production establishments. While, the TOC (Total organic carbon) method has shown to be less reliable as an indication for environmental changes due to human activities and mariculture production under the surveillance period.

## **Release and evaluation of environmental impacts of nutrients released from aquaculture**

The objective of the project was to quantify emissions of inorganic nutrients from fish farms to water masses in the Nordmøre region and to undertake an impact study to determine if emissions had negative chemical and ecological effects on the planktonic ecosystem, in accordance with the European water directive.

The discharge rates of inorganic nutrients from the salmon farms in the region were estimated based on a mass balance analysis of "feed-in" and "fish out" in the period May-September. The estimated emissions of inorganic N (DIN) and P (DIP) from farms in the region increased from May to August and became slightly reduced again in October. The total emission of DIN in August was about 350 tonnes while the emission of DIP was 27 tonnes (N:P = 13).

Four stations for sampling were established. The intention was that two of the stations were located in areas believed to be minimally affected by aquaculture (BA-stations) while the other two stations were placed in areas where the influence was believed to be at a maximum (PV-stations).

The average temperature of the water masses (0-10 meters deep) at the stations showed a maximum of around 15°C in September and winter temperatures were slightly above 6°C. Salinity was relatively constant around 30 ppt. There were no systematic differences in temperature and salinity at background (BA) and more affected stations (PV). All measured nutrient concentrations and biomasses of phytoplankton (chlorophyll *a*) was clearly below the limits set by the OSPAR Commission for Norway (2-4 µg litre<sup>-1</sup> of chlorophyll *a*, with an elevated level >4.5 µg litre<sup>-1</sup> for the North Sea). In the Nordmøre region, the values were throughout <1 µg chlorophyll *a* litre<sup>-1</sup>. The loading rate of nutrients at both BA-stations and at PV1-Bremsnesfjorden were lower than the background value measured in Hopavågen in Agdenes, whereas PV2-Reiråklakken, which was located close to 2 - 3 large fish farms, showed a slightly higher loading rate, although not significantly higher than the natural background rate in Hopavågen ( $P>0.05$ ). PV1 was also located in an area of high farm density, but the nutrient loading rate there remained low. The average loading rate of inorganic nutrients of the region, estimated as the mean for the four sampling stations, was 95% of natural background measured in Hopavågen, but the value was not significantly lower ( $P>0.05$ ). This conclusion is supported by low average concentrations of chlorophyll *a* and POC, reflecting phytoplankton biomass and biomass of small plankton species (< 200 µm), respectively. This indicates that food chains and the function of the planktonic ecosystem were not affected negatively.

The N:P ratio of the phytoplankton, estimated as the PON:POP of the particulate material, supported the conclusion that DIN was the primary limiting nutrient of the phytoplankton. The P:C and N:C ratios of the phytoplankton and the ratio DIN:DIP of the water supported that conclusion. This indicated that natural sources of DIN and DIP were a far more important source of nutrients than the anthropogenic source from fish farming. The emissions from farming had a DIN:DIP ratio of 13 µgP µgN<sup>-1</sup>. If nutrients from fish farms had become the major source of nutrients, this would have resulted in increased N:P values in the phytoplankton and phosphorus would become their limiting nutrient (when  $N:P > 7.2 \mu\text{gP } \mu\text{gN}^{-1}$ ). A shift to P-limitation would accordingly imply that the nutrient supply from fish farming was a primary source of nutrients of the phytoplankton.

An overall conclusion from the studies, based on several methods, was that the concentrations of nutrients, the biomass of phytoplankton, the ecological state evaluated based on the experiments in Hopavågen, and algal physiological indicators all indicated intact ecosystems of full integrity (state: Very good). The chemical and the functional state of the planktonic ecosystem were accordingly not negatively affected.

### **Modeling of flow and discharge of nutrients, lice and viruses**

The 3D hydrodynamic-biological model system SINMOD was used to examine the distribution of nutrients (NH<sub>4</sub>-N) and lice from 25 aquaculture sites in North Møre.

Release of NH<sub>4</sub>-N was simulated with both passive tracer (ie concentrations without any properties other than that they are diluted and displaced) in a purely hydrodynamic perspective and with ammonium being taken up by phytoplankton. The simulations showed that the concentration of NH<sub>4</sub>-N, both as a passive tracer and as "active" ammonium, generally was higher at two sites (PV1 and PV2) which was previously thought to be more affected by discharge from aquaculture than two sites (BA1 and BA2) where it was assumed that the effect was smaller. In addition, model simulations showed that concentrations as a result of discharges from aquaculture was high at one site (called STN) in Vinjefjorden. The simulations with the coupled hydrodynamic-biological model showed that both physical and biological processes contributed significantly to the dilution and absorption of released ammonia.

Release of sea lice and viruses from the localities in Nordmøre shows that there is significant exchange of water between adjacent sites and that the spread of pathogens between localities is therefore a result of natural processes. The main water currents in the upper layers flow out of the fjords and head north with the coastal currents, but our results show that the spread may also occur against the general flow direction. This will be especially important in the winter with colder water which slows down biological processes resulting in a longer lifespan of waterborne pathogens resulting in the possibility of greater proliferation.

### **Development of wild salmon and sea trout population in Nordmøre**

The principal aim of work package four was initially defined as follows: to obtain a better understanding of the development of wild salmon and sea trout stocks in Nord-Møre county and to assess the impact of fish farming on this development. We emphasized from the start – based on available statistics – that the probability of being able to draw firm inferences on the latter issue was limited. All municipalities in the Nord-Møre area support waterways with salmon and/or sea trout stocks, designated as *anadromous waterways*. The Directorate of Nature Management (DN) has assessed the situation for 67 of totally 71 anadromous waterways. Fishing for sea trout and salmon has been permitted in the Surna and Driva rivers, both of which are defined as national salmon waterways. 14 of the *anadromous waterways* discharge into the 2 national salmon fjords in the region.

Møre og Romsdal is the Norwegian county that is most severely affected by the salmon parasite *Gyrodactylus salaris*. 4 waterways in Nord-Møre are infected. The parasite affects the recruitment of juveniles and smolts and has deteriorated the situation for the salmon stocks in the region to a level characterized by DN as very poor. Five anadromous waterways have been affected by hydroelectric power plant development which in turn has had a negative impact on smolt production and salmon fishing, and on sea trout stocks.

Salmon farm escapees have been found in sea and river fisheries. Over half of the salmon in one investigated off-shore catchment area were escaped farmed salmon. The high incidence of fish farm escapees in the Driva and Surna rivers has led DN to categorise all 14 anadromous waterways in the region as vulnerable with wild salmon comprising between 50 and 75% of the populations. These assessments are based on models and have not been verified by genetic analyses. Quantification of farmed salmon interference based on valid genetic methods should be implemented as soon as possible. Such surveillance may help to illuminate the impact of fish farm escapees on salmon production in the rivers in the region.

Systematic salmon louse monitoring has not been performed in this region. Results from limited surveys in the Sunndalsfjorden fjord in 2008 and 2009 indicate that salmon lice exert a negative impact both on individual fish and on fish populations. The national salmon louse survey conducted in 2011 concluded that at least the early smolt runs probably avoided high infective pressure pulses of sea lice. Reported sea trout catches for the region were six times higher in the peak year of 2000 compared to in 2011, thus giving reason for concern. A similar pattern has been seen in larger areas of western and central Norway, but appears to be more pronounced in Nord-Møre. Salmon louse infections are viewed as potentially detrimental and should be assessed more comprehensively.

We propose that first generation environmental impact parameter surveys are implemented according to Taranger et al. (2012) with focus on genetic influences of fish farm escapees on wild salmon stocks and effects of salmon louse infections on wild salmonid populations. This approach includes both *alarm indicators* and *verification parameters* for both genetic impact assessments and effects of salmon louse infections on anadromous salmon populations.

### **Effect on wild marine fish**

As part of the project “Environmental Documentation Nordmøre”, this work package describes the impact of aquaculture activities on whitefish in the region. This is done through contact with fishermen, landing facilities, authorities and organizations. Moreover, fishing activities near fish farms were registered in order to gain an indication on the extent of this. Reduced quality of whitefish doesn’t appear to be a significant problem for coastal fishermen in Nordmøre. Reported problems are local in nature, and the extent seems to have declined in recent years. The pattern supported by various parties who have good knowledge of the coastal fishery in this area. In Nordmøre there is directed fishery close to aquaculture facilities. Tourist fishermen dominate this, but the results suggest that there are weekly deliveries of fish from commercial fishermen who are fishing close to the aquaculture facilities in the region. This supports the assumption that quality reduction in the wild seems to be a limited problem in Nordmøre. Land seizures and uncertainty related to possible impacts seems to be a more serious challenge for the professional fishermen in the region.

