

# Interaksjoner mellom havbruk og ville marine organismer

- En kunnskapsoppsummering

Bjørn-Steinar Sæther<sup>1</sup>, Ingebrigt Uglem<sup>2</sup> og Ørjan Karlsen<sup>3</sup>

Nofima (1), Norsk Institutt for Naturforskning (2), Havforskningsinstituttet (3)





Nofima er et næringsrettet forskningsinstitutt som driver forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 400 ansatte.

Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på seks ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra, Averøy og Tromsø

**Hovedkontor Tromsø:**

Muninbakken 9–13  
Postboks 6122  
NO-9291 Tromsø

**Ås:**

Osloveien 1  
Postboks 210  
NO-1431 ÅS

**Stavanger:**

Måltidets hus, Richard Johnsensgate 4  
Postboks 8034  
NO-4068 Stavanger

**Bergen:**

Kjerreidviken 16  
NO-5141 Fyllingsdalen

**Sunnalsøra:**

Sjølseng  
NO-6600 Sunndalsøra

**Averøy:**

Ekkilsøy  
NO-6530 Averøy

**Felles kontaktinformasjon:**

Tlf: 02140

Faks: 64 97 03 33

E-post: [post@nofima.no](mailto:post@nofima.no)

Internett: [www.nofima.no](http://www.nofima.no)

# Vedlegg til Rapport

		Vedlegg til P1 prosjektrapport
<i>Tittel:</i> <b>Interaksjoner mellom havbruk og ville marine organismer – en kunnskapsoppsummering</b>		<i>Rapportnr.:</i>
		<i>Tilgjengelighet:</i>
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Bjørn-Steinar Sæther, Ingebrigt Uglem og Ørjan Karlsen		<i>Dato:</i> 05.04.2013
<i>Avdeling:</i> Akvakultur, Produksjonsbiologi		<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 65 + 1 vedlegg
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfond		<i>Oppdragsgivers ref.:</i> 201200071-/421
<i>Stikkord:</i> Sameksistens fiskeri havbruk		<i>Prosjektnr.:</i> 900772
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i> <p>Havbruk er en viktig næring både i Norge og i resten av verden. Siden den globale matproduksjonen må øke i framtiden er det rimelig å anta at havbruksnæringen også vil bli større. Det anses som generelt viktig at havbruk og andre næringer knyttet til utnyttelse av naturressurser skal vokse på en bærekraftig måte. Kunnskap om og i hvilken grad ulike næringer, inkludert havbruk, påvirker miljøet er viktig for å forutse, forebygge og redusere mulige negative effekter, samtidig som det er mulig å utvikle lønnsomme virksomheter. Hensikten med denne rapporten er å oppsummere og diskutere kunnskapen om effekter av Norsk havbruk på marine organismer, med vekt på kommersielle fiskearter, både fra et økologisk ståsted og i forhold til ulike interessenter i kystsonen, og for de vanligste oppdrettsartene. Siden oppdrett av laks er den klart største næringen er det fokusert mest på mulige effekter av lakseoppdrett, men vi har også inkludert kunnskap vedrørende mulige effekter for andre oppdrettsarter der slik kunnskap er tilgjengelig.</p> <p>Kunnskapsoppsummeringen viser generelt at marint havbruk kan påvirke biologien til en rekke marine organismer. Effektene kan variere mellom arter, livsstadier og andre økologiske faktorer, og kan påvirke forskjellige interessentgrupper på varierende vis. Det er sannsynlig at det eksisterer scenario der for eksempel den økologiske påvirkningen er minimal, men effektene for de ulike interessentgruppene kan være både positive og negative. Kunnskapsoppsummeringen illustrerer derfor at utforming av eventuelle forebyggende, konfliktdepende eller avbøtende tiltak vil være en balansegang mellom å ivareta økosystemet og samtidig ta vare på ulike interessentgrupper.</p>		
<i>English summary/recommendation:</i> <p>Aquaculture is an important industry both in Norway and in the rest of the world. Since the global food production will have to increase in the future, it is reasonable to assume that the aquaculture industry also will increase. In general it is considered to be important that aquaculture and other industries associated with the exploitation of natural resources grow in a sustainable way. Knowledge related to if and to what extent aquaculture may affect the environment is important to predict, prevent and reduce potential unwanted effects and simultaneously to develop viable industries. The purpose of this report is to summarize and discuss the knowledge about effects of Norwegian aquaculture on wild marine organisms, with emphasis on commercial fish species, both from ecological and stakeholder points of view and for the most common farmed species.</p>		

## Forord

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) har et overordnet mål om å bidra til kunnskap og tiltak som kan styrke sameksistensen mellom fiskeri og havbruk.

I FHF sin Handlingsplan for 2012 er dette formulert slik:

*«Arealbruk i sjøen har de siste årene blitt et mer og mer aktuelt tema. Med mange ulike næringer som fiske, havbruk, olje, bergverk, vindkraft og ikke minst fritidsbruk kommer man opp i interessekonflikter. FHF ser det som viktig å fremme kunnskap og legge til rette for god sameksistens mellom fiske og havbruk og andre næringer. Spesielt i kystsonen er det behov for kunnskap som kan avklare hvordan havbruk og kystfiske og andre næringer kan unngå konflikter og helst utvikle tiltak som gir gevinst for flere sektorer. FHF vil ha fokus på og bidra til å initiere FoU-prosjekter med dette som målsetting.»*

Dette er forhold som står sentralt også i Norges Fiskarlag sin strategiplan.

FHF anmodet om en gjennomgang av eksisterende og etterprøvbar kunnskap om hvordan oppdrett av fisk eventuelt påvirker ville marine bestander. Forhold rundt effekter på laksefisk, mulige genetiske interaksjoner og smitte mellom ville og oppdrettede bestander omfattes av andre prosjekter og belyses ikke her.

FHF ga Nofima, Havforskningsinstituttet og Norsk Institutt for Naturvitenskap i oppdrag å utarbeide en kunnskapsoppsummering om interaksjoner mellom havbruk og ville marine organismer. Arbeidet var en del av prosjektet «Evaluation of actions to promote sustainable coexistence between salmon culture and coastal fisheries», finansiert av FHF. Følgende forskere var involvert i dette arbeidet: Bjørn-Steinar Sæther (Nofima), Ingebrigt Uglem (NINA), Ørjan Karlsen (HI). I tillegg har en styringsgruppe oppnevnt av FHF bestående av representanter fra fiskeri og havbruksnæringen bidratt i utarbeidingen av målsettingene med kunnskapsoppsummeringen. Styringsgruppen består av: Tor Anders Elvegård, Geir Magne Knutsen, Harald E. Hansen, Jan Henrik Nøstbakken. Eirik Sigstadstø representerer FHF i prosjektgruppen.

# Innhold

• <b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>1</b>
• <b>ENGLISH SUMMARY</b> .....	<b>2</b>
<b>1. INTRODUKSJON</b> .....	<b>3</b>
<b>2. EFFEKTER AV ORGANISKE BIPRODUKTER FRA MARINT OPPRETT</b> .....	<b>7</b>
2.1. GENERELT .....	7
2.1.1. <i>TYPEN ORGANISK AVFALL</i> .....	8
2.1.2. <i>GJØDSLINGSEFFEKTER</i> .....	10
2.1.3. <i>BENTISKE EFFEKTER</i> .....	12
TILTREKNING AV FISK TIL OPPDRETTSANLEGG .....	17
2.2. EFFEKTER AV TILTREKNING AV FISK .....	21
2.2.1. <i>ROMLIG FORDELING AV FISK – BEGRENSINGER FOR FISKERI?</i> .....	21
2.2.2. <i>KVALITET PÅ VILLFISK - EFFEKTER PÅ FISKERI</i> .....	23
2.2.3. <i>FREMMEDESTOFFER OG KVALITET</i> .....	29
2.2.4. <i>TILTREKNING AV FISK – EFFEKTER FOR OPPDRETTSNÆRINGEN</i> .....	30
2.2.5. <i>TILTREKNING AV VILLFISK TIL OPPDRETTSANLEGG OG TURISTNÆRINGEN</i> .....	32
2.3. EFFEKTER AV ORGANISK AVFALL FRA MARINT OPPRETT - KONKLUSJON .....	33
<b>3. EFFEKTER PÅ REPRODUKSJON OG ATFERD HOS VILLFISK</b> .....	<b>35</b>
3.1. VEKST, ALDER VED KJØNNSMODNING OG FEKUNDITET .....	35
3.2. EFFEKTER PÅ GAMET VIABILITET .....	36
3.3. ENDRING AV NATURLIG ATFERD HOS VILLFISK PÅ GRUNN AV HAVBRUK .....	40
3.4. ENDRINGER I GYTEATFERD HOS VILLFISK .....	42
3.4.1. <i>MULIG PÅVIRKNING AV GYTEADFERD HOS TORSK</i> .....	42
3.4.2. <i>MULIG PÅVIRKNING AV GYTEADFERD HOS SEI</i> .....	43
<b>4. KONKLUSJON</b> .....	<b>45</b>
ENGLISH CONCLUSION .....	48
<b>5. LITTERATUR</b> .....	<b>51</b>

## ● SAMMENDRAG

Havbruk er en viktig næring både i Norge og i resten av verden. Siden den globale matproduksjonen må øke i framtiden er det rimelig å anta at havbruksnæringen også vil bli større. Det anses som generelt viktig at havbruk og andre næringer knyttet til utnyttelse av naturressurser skal vokse på en bærekraftig måte. Kunnskap om og i hvilken grad ulike næringer, inkludert havbruk, påvirker miljøet er viktig for å forutse, forebygge og redusere mulige negative effekter, samtidig som det er mulig å utvikle lønnsomme virksomheter. Hensikten med denne rapporten er å oppsummere og diskutere kunnskapen om effekter av Norsk havbruk på marine organismer, med vekt på kommersielle fiskearter, både fra et økologisk ståsted og i forhold til ulike interessenter i kystsonen, og for de vanligste oppdrettsartene. Siden oppdrett av laks er den klart største næringen er det fokusert mest på mulige effekter av lakseoppdrett, men vi har også inkludert kunnskap vedrørende mulige effekter for andre oppdrettsarter der slik kunnskap er tilgjengelig. Vi har først analysert og diskutert kunnskap vedrørende effekter av organisk avfall fra marint havbruk. Vi har her fokusert på eventuelle gjødslingseffekter og endring av bunnforhold, samt tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg og mulige effekter av dette på ulike interessentgrupper, inkludert fiskeri, havbruk og turisme. Vi har også oppsummert eksisterende kunnskap vedrørende i hvilken grad marint havbruk kan tenkes å påvirke naturlig atferd og reproduksjon hos vill marin fisk. Kunnskapsoppsummeringen viser generelt at marint havbruk kan påvirke biologien til en rekke marine organismer. Effektene kan variere mellom arter, livsstadier og andre økologiske faktorer, og kan påvirke forskjellige interessentgrupper på varierende vis. Det er sannsynlig at det eksisterer scenario der for eksempel den økologiske påvirkningen er minimal, men effektene for de ulike interessentgruppene kan være både positive og negative. Kunnskapsoppsummeringen illustrerer derfor at utforming av eventuelle forebyggende, konfliktdempende eller avbøtende tiltak vil være en balansegang mellom å ivareta økosystemet og samtidig ta vare på ulike interessentgrupper. Det vil videre være viktig å samtidig fokusere på flere påvirkningsfaktorer og at evaluering av mulige økosystemeffekter av havbruk foretas på en helhetlig måte og ikke kun i forhold til økologiske faktorer, men også til samfunnsmessige faktorer.

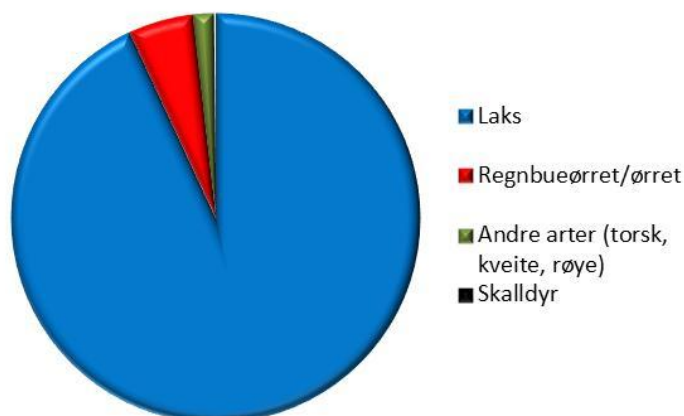
## ● ENGLISH SUMMARY

Aquaculture is an important industry both in Norway and in the rest of the world. Since the global food production will have to increase in the future, it is reasonable to assume that the aquaculture industry also will increase. In general it is considered to be important that aquaculture and other industries associated with the exploitation of natural resources grow in a sustainable way. Knowledge related to if and to what extent aquaculture may affect the environment is important to predict, prevent and reduce potential unwanted effects and simultaneously to develop viable industries. The purpose of this report is to summarize and discuss the knowledge about effects of Norwegian aquaculture on wild marine organisms, with emphasis on commercial fish species, both from ecological and stakeholder points of view and for the most common farmed species. Aquaculture of salmonids is by far the largest industry and it is thus focused mostly on possible effects of salmon farming, but we have also included information regarding effects of other farmed species when such knowledge is available. We have mainly analysed and discussed knowledge regarding the effects of organic waste from marine aquaculture. More specifically, we have focused on fertilization effects and changes in benthic fauna, as well as attraction of wild fish to farms and how this may affect different stakeholders, including fisheries, aquaculture and tourism. In addition, we have summarised existing knowledge concerning the extent to which marine aquaculture may affect natural behaviour and reproduction of wild marine fish. The summary shows that marine aquaculture may affect the biology of a range of marine organisms. The effects can vary between species, life stages and other ecological factors, and can affect different stakeholder groups in different ways. Scenarios where e.g. the ecological impact is minimal, but where the effects of the various stakeholder groups can be both positive and negative, are likely to exist. The knowledge summary illustrates that development of preventive or mitigating actions could be a trade-off between preserving the ecosystem and simultaneously ensure the existence of various stakeholder groups. A holistic approach where not only ecological factors but also social factors are taken into account is required to develop a sustainable aquaculture industry.

## 1. INTRODUKSJON

Havbruk, det vil si kulturbetinget produksjon av marine organismer, er en viktig næring både i Norge og i resten av verden. Den globale befolkningsøkningen innebærer at matproduksjonen må øke. Siden sjømat er sunn og råstoff-effektiv mat forventes det at havbruk vil bli enda viktigere i framtiden. På samme måte som andre næringer som baseres på kunstig produksjon av naturlige organismer eller høsting av naturressurser vil havbruk påvirke miljøet. Det anses som vesentlig at havbruk og andre næringer knyttet til det marine miljø skal vokse på en bærekraftig måte, med andre ord slik at utviklingen både ivaretar den nåværende generasjons behov, uten samtidig å ødelegge mulighetene for kommende generasjoner til å tilfredsstille sine behov (Brundtlandskommisjonen 1987).

Norsk havbruk er i hovedsak produksjon av laksefisk (Figur 1). Produksjonen av skalldyr og andre fiskearter utgjorde mindre enn 2 % av det totale produksjonsvolumet i norsk havbruk i 2011. Det store omfanget av lakseoppdrett og det faktum at laks er en art som oppfattes som spesielt viktig betyr at bærekraftbegrepet har fått mer fokus i oppdrett av laks enn for oppdrett av andre arter. Behovet for å utvikle bærekraftig havbruk er imidlertid ikke nødvendigvis kun relatert til produksjonsvolum, og det er derfor viktig å fokusere på miljøhensyn også ved oppdrett av andre arter enn laksefisk. Siden de ulike oppdrettsartene deler miljø med mange arter, både i terrestriske og akvatiske, er det viktig å kartlegge samspillet mellom oppdrett og ville organismer på en bred front for å kunne evaluere bærekraft.

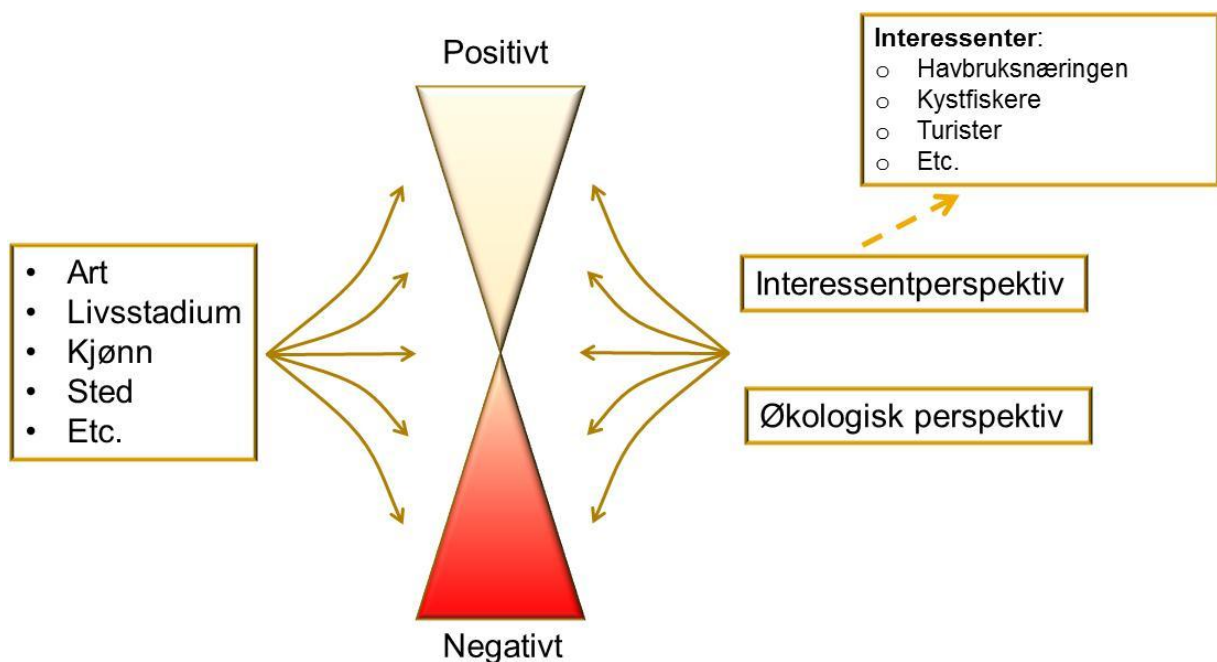


**Figur 1.** Produksjon i norsk havbruk i 2011 som andel av total produksjon av fisk og skalldyr (1138796 tonn, data fra Fiskeridirektoratet).

Det økologiske samspillet mellom havbruk og ville marine organismer kan være både positivt, negativt eller nøytralt for ulike arter, samt også variere for ulike livsstadier eller kjønn innen hver art, og en rekke andre faktorer (Figur 2) (Holmer 2010). Hva som er negativt eller positivt varierer også i forhold til hvilket nivå eller ståsted eventuelle effekter evalueres.



Grovt sett kan mulige effekter evalueres fra et økologisk synspunkt og fra et interessentsynspunkt (Figur 2). Økologisk sett kan negative eller positive effekter bestå i at havbruk spesifikt og i tillegg til andre menneskeskapte og/eller naturlige bestandsregulerende faktorer fører til betydelige og varige endringer i bestandsstørrelse eller utbredelse for en art. Mulige effekter kan variere mellom ulike interessentgrupper. Dersom interessenten er forbrukere eller fiskere kan f.eks. negative effekter kunne bestå i at matvaretryggheten påvirkes via spredning av miljøgifter fra havbruk til ville organismer eller at matvarekvaliteten forringes. Et annet eksempel er at vill fisk som oppholder seg ved oppdrettsanlegg kan spise tilgjengelig spillfôr og at negative effekter av fôrspill på organismer som lever på eller i umiddelbar nærhet av bunnen (benthos) dermed reduseres. Villfisk kan slik fungere som renovatører, noe som er positivt både for miljøet og oppdretterne. Omfanget av ulike effekter vil heller ikke være entydig negativt eller positivt, og det er naturlig å anta at effekter vil være svakt negative eller svakt positive. Som for de fleste andre miljøeffekter forårsaket av menneskeskapte aktiviteter er det et samfunnsmessig ansvar å bestemme hva som er akseptable grenseverdier eller toleransegrenser.



Figur 2. Mulige effekter bør vurderes på en kontinuerlig skala fra positivt til negativt. Hvorvidt effektene er positive, nøytrale eller negative vil kunne variere avhengig av om effekten vurderes ut fra interessent-synspunkt eller et økologisk ståsted. Siden forbrukere generelt ønsker «bærekraftig mat» er disse to synspunktene ikke nødvendigvis uavhengige. Om og i hvilke grad mulige effekter kan vurderes som positive eller negative varierer mellom arter og i forhold til en rekke andre faktorer.

For å beskrive og klassifisere økologiske effekter av menneskelige aktiviteter, både i vann og på land, er begrepene økologisk felle eller kilde ofte brukt (ecological trap/sink, e.g.

Robertson & Hutto 2006; Dempster m. fl. 2011). En økologisk felle kan oppstå når et kunstig habitat introduseres i et naturlig økosystem. Ulike arter kan foretrekke det kunstige habitatet foran deres naturlige habitat dersom de oppfatter det kunstige habitatet som best. Dersom det kunstige habitatet oppfattes som bedre, men i realiteten er dårligere, blir dette ofte referert til som en økologisk felle. I motsetning kan det kunstige habitatet både oppfattes og være bedre enn naturlige habitat, noe som refereres til som en økologisk kilde. Hvorvidt havbruk fører til introduksjon av økologiske feller eller kilder er fortsatt usikkert (Dempster m. fl. 2011). Siden mulige effekter vil variere mellom arter og i forhold til mange andre faktorer (Figur 2) vil det uansett ikke være mulig generelt å karakterisere oppdrettsanlegg som enten feller eller kilder. Videre, selv om oppdrettsanlegg kan være enten feller eller kilder i en økologisk sammenheng er dette ikke nødvendigvis sammenfallende med at det er tilsvarende positive eller negative samfunnsmessige effekter. Oppdrettsaktivitet kan for eksempel være positivt for en fiskeart i en økologisk sammenheng dersom spillfôr representerer en ekstra matkilde (Sanchez-Jerez m. fl. 2011), negativt for fiskere og forbrukere dersom fiskens konsumkvalitet forringes (Skog m. fl. 2003; Bjørn m. fl. 2007; Otterå m. fl. 2009; Sæther m. fl. 2012) og positivt for oppdrettere dersom inntak spillfôr medfører redusert bentisk (på bunnen) forurensning (Vita m. fl. 2004; Dempster m. fl. 2011).

Oppdrettsanlegg og andre havbruksinstallasjoner er også blitt sammenlignet med såkalte «fish attracting devices» - eller FADs (Sanchez-Jerez m. fl. 2011). Dette er et begrep som brukes om kunstige strukturer som tiltrekker og oppkonsentrerer fisk som dermed blir enklere å fange både for fritids- og kommersielle fiskere. Slike kan være enkle strukturer, eksempelvis europaller som benyttes i tunfisk fiskerier ute i åpen sjø, eller mer komplekse konstruksjoner som eksempelvis båtvrak. FADs tiltrekker seg normalt stor fisk på grunn av at de tilbyr skjulesteder, både for den større fisken og for mindre byttedyr. Oppdrettsanlegg kan sammenlignes med FADs siden de tiltrekker seg fisk, fordi de representerer skjulesteder og fordi spillfôret og mindre byttedyr utgjør en ressurs. Dersom det åpnes for kommersielt fiske innen fredningssonen rundt oppdrettsanlegg (100 m i Norge) vil anlegg kunne brukes som FADs, såfremt konsumkvaliteten på fisken er akseptabel og at overbeskatning unngås. Beskatning av tiltrukket fisk må også vurderes opp mulige positive effekter som for eksempel at stor villfisk spiser mye spillfôr og at de også kan redusere omfanget av rømning ved å spise små rømt fisk (Serra-Linares m. fl. 2013). Det er imidlertid også hevdet at oppdrettsanlegg faktisk skremmer vekk fisk fra fjorder med høy oppdrettsintensitet, noe som igjen kan påvirke lokale fiskerier (Maurstad m. fl. 2007; Sæther m. fl. 2007; Bjørn m. fl. 2009).

Det råder generelt usikkerhet med hensyn til hvordan havbruk påvirker ville marine organismer. Dette skyldes delvis mangel på kunnskap, noe som er relatert til at aktuelle problemstillinger har blitt lite prioritert i forhold til andre miljørelaterte problemstillinger innen havbruk, slik som effekter av lakseoppdrett på villaks via økt mengde lakselus og rømning av oppdrettsfisk (e.g. McGinnity m. fl. 2004; Naylor m. fl. 2005; Weir & Grant 2005; Skaala m. fl. 2006; Hindar m. fl. 2006; Ferguson m. fl. 2007; van Nes m. fl. 2011; Anon 2012; Glover m. fl. 2012; Krkosek m. fl. 2012; Skilbrei m. fl. 2013). Det er også ressurskrevende å undersøke enkelte problemstillinger, for eksempel hvorvidt lakseanlegg skremmer vekk torsk fra gytegrunnene. Slike undersøkelser krever stor og langsiktig

feltinnsats før og etter etablering av havbruksvirksomhet og det er også vanskelig å skille mulige effekter av havbruk fra andre effekter slik som overfiske, naturlige variasjoner og eventuelle klimaeffekter. På samme måte som for mange naturfenomen, for eksempel klimaendringer, er det for noen problemstillinger ikke mulig å føre bevis for eller i mot effekter, og en må analysere indisierekker for å kunne vurdere sannsynligheten for om effekter eksisterer og om disse er positive eller negative. Det er også viktig å vurdere effekter på en helhetlig måte siden de kan variere mellom arter, oppdrettstyper og i forhold til mange andre faktorer. Usikkerheten vedrørende effekter skyldes videre misforståelser og at eksisterende kunnskap har vært underkommunisert. Det faktum at mulige effekter vurderes fra flere ståsteder og at det er store økonomiske verdier og mange arbeidsplasser med i bildet har også medført konflikter mellom brukergrupper og en betydelig mediaoppmerksomhet, noe som kan ha bidratt til at fokuset på reell og etterrettelig kunnskap har kommet i bakgrunnen. Det er derfor åpenbart at det i tillegg til ny kunnskap, også er behov for å oppsummere og vurdere eksisterende kunnskap vedrørende samspillet mellom havbruk og marine organismer.

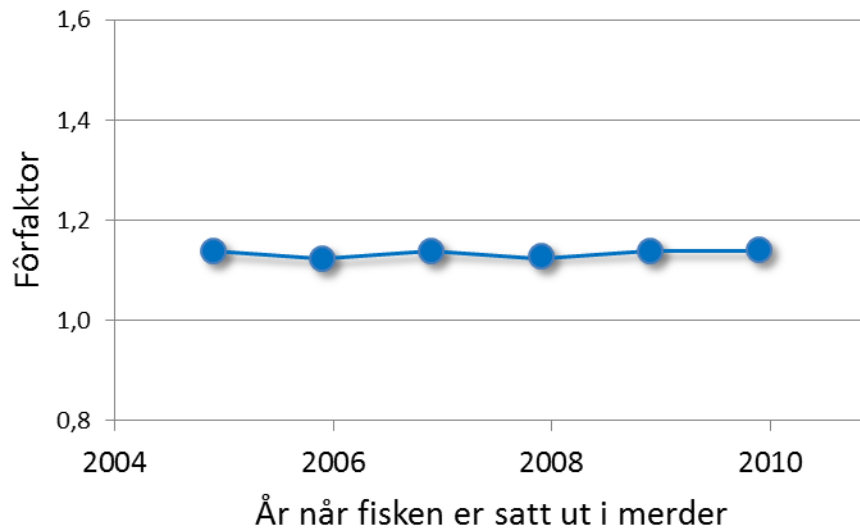
*Hensikten med denne rapporten er å summere og diskutere kunnskapen om effekter av havbruk på marine organismer, med vekt på kommersielle fiskearter, både fra et økologisk ståsted og i forhold til ulike interessenter i kystsonen. Vi har ikke fokusert på mulige effekter på anadrome eller katadrome arter siden effekter på anadrome arter (f. eks. laksefisk) er oppsummert i mange nyere rapporter og reviewartikler, mens det oss bekjent ikke finnes kunnskap om interaksjoner mellom marint havbruk og katadrome arter (f. eks. ål). Vi har samlet og analysert kunnskap om mulige effekter av de vanligste oppdrettsartene i Norge. Siden oppdrett av laks er den suverent største næringen er det implisitt fokusert mest på mulige effekter av lakseoppdrett, men vi har også inkludert kunnskap for andre oppdrettsarter der slik kunnskap er tilgjengelig.*

Vi har videre brukt kunnskap fra andre land og oppdrettsarter for å illustrere generelle prinsipper. Kunnskapsoppsummeringen er i hovedsak begrenset til to overordnede tema. Det første temaet tar for seg hvordan organiske biprodukter fra havbruk eventuelt påvirker ville marine arter, mens det andre temaet omhandler mulige effekter på reproduksjon hos vill marin fisk. De to temaene overlapper til en viss grad siden organiske biprodukter i form av spillfôr kan tenkes å påvirke reproduksjonen hos ulike marine arter. Andre mulige effekter av havbruk, for eksempel spredning av giftstoffer og patogener, samt effekter på grunn av rømning av oppdrettsfisk er ikke diskutert i detalj siden dette ikke var en del av oppdragsbeskrivelsen fra oppdragsgiver og siden det finnes omfattende nye kunnskapsoppsummeringer vedrørende disse temaene. Vi har hovedsakelig referert til fagfelleverdert vitenskapelig kunnskap, men vi viser også til såkalt grålitteratur eller interne/eksterne rapporter som ikke er fagfelleverdert såfremt disse er refererbare, samt systematisert erfaringsbasert kunnskap.

## 2. EFFEKTER AV ORGANISKE BIPRODUKTER FRA MARINT OPPRETT

### 2.1.GENERELT

Organiske biprodukter fra oppdrettsanlegg stammer i hovedsak fra uspist fôr (spillfôr), fekalier og andre metabolitter. Det finnes, så vidt vi er kjent med, ingen nyere publiserte studier i internasjonale tidsskrift med fagfellebehandling der fôrtap eller produksjon av fekalier er målt for fullskala kommersielle lakseanlegg i Norge. Utvikling av stadig bedre tilpasset fôr kombinert med forbedringer i utfôringsteknologi og bruk av fisk avlet for oppdrett, har imidlertid gitt store forbedringer i anleggenes fôrutnyttelse. De siste 5 år har utnyttelsesgraden, målt som fôrfaktor (beregnet ut i fra utfôret mengde fôr fordelt på mengde produsert fisk) imidlertid holdt seg relativt stabil rundt 1.12-1.14 (Jan-Petter Kosmo, Kontali Analyse). Stagnasjonen i den positive utviklingen har sin årsak i flere forhold; blant annet at fôrråvarer av marin opprinnelse erstattes med andre kilder, hovedsakelig vegetabilia, som reduserer fordøyeligheten av fôret (men som inkluderes for å redusere forbruket av marine råvarer med begrenset tilgjengelighet). Basert på fôrets sammensetting og energinivå er det grunn til å anta at fôrutnyttelsen fortsatt kan forbedres. Måling av fôrtap i kommersielle oppdrettssituasjoner er komplisert siden tapt fôr som er spist av villfisk og fôr som fragmenteres i fôringssystemene også må inkluderes i estimert fôrtap. Fôrtapet er imidlertid anslått til å være i størrelsesorden 3-5 % av brukt fôrmengde (Kutti 2008; Reid m. fl. 2009; Otterå m. fl. 2009). Dette vil eksempelvis innebære et maksimalt fôrtap på mer enn 45 000 tonn i Norge i 2011 da mer enn 1,5 millioner tonn fiskefôr ble solgt (data fra Fiskeridirektoratet). Det faktum at fôrfaktoren har vært ganske stabil rundt 1,13 de siste årene og at det er mulig å produsere ett kilo laks med i underkant av ett kilo fôr (Handeland m.fl. 2008) indikerer også at fôrtapet kan være betydelig (Figur 3). Her ligger det dog en usikkerhet knyttet til senere års innblanding av vegetabilia som påvirker utnyttelsen negativt. Waagbø (m. fl. 2013) rapporterte en biologisk fôrfaktor på 1.0 hos laks i sjø opp til 1.5 kilo fôret med kommersielt fôr, mens dette økte med økende andel planteproteiner i dietten. Gitt utviklingen kan den tilsynelatende endringen være en faktisk forbedring med bakgrunn i en stadig endring i dietten. Den ufordøyde delen av fôret tilføres miljøet som fekalier. I tillegg slippes sluttproduktet fra metabolismen ut som oppløst materiale.



Figur 3. Biologisk fôrfaktor levende vekt mellom 2005 og 2010. Fôrfaktorestimatene er basert på data fra Kontali Analyse og er beregnet for fisk satt ut i perioden 2005 til 2010, med siste generasjon slaktet ut i 2012.

Man vet forholdsvis lite om hvordan organiske biprodukter fra oppdrett fordeler seg i de marine næringskjedene. Potensielle effekter på tiltrekking av villfisk og ulike interessentgrupper (Kap. 2.2 og 2.3) og reproduksjon (Kap. 3) er omtalt senere i kunnskapsoppsummeringen. I dette avsnittet (Kap. 2.1) gjennomgås hvilke typer utslipp vi har og hvor mye det faktisk er snakk om. Deretter oppsummeres kunnskapen vedrørende effekter av oppløst materiale i form av gjødsling, og til sist hvilken effekt partikulært materiale (fôrspill og fekalier) kan ha på bunnen.

### 2.1.1. TYPER ORGANISK AVFALL

Det er i hovedsak tre typer organisk avfall fra oppdrettsanlegg, partikulært som fôrspill og fekalier, samt oppløst organisk og uorganisk materiale. De løste stoffene består både av organiske og uorganiske forbindelser som vil virke som næringssalter. Næringskomponentene fra utslipp grupperes ofte i tre hovedgrupper, partikulært organisk nitrogen (N), fosfor (P) og karbon (C) (benevnes henholdsvis PON, POP og POC), løst organisk N, P og C (DON, DOP og DOC) og løst uorganisk N, P og C (DIN, DIP og DIC). Uorganisk fosfor (som  $PO_4^{3-}$ ) og nitrogen ( $NH_3$ ) ekskretes via urea, mens oppløst karbon (som  $CO_2$ ) skilles ut over gjellene (Wang m. fl. 2012).

Partikulært nitrogen, karbon og fosfor kommer fra fôrspill og fekalier. Store partikler synker raskt til bunnen under eller rett ved anlegg, hvor de kan konsumeres av dyr i vannsøylen eller på bunnen. Små partikler flyter lengre, og er tilgjengelig for filtrerende dyr, både dyreplankton, fisk og skjell (Troell m. fl. 2009). Målinger indikerer at 10-15 % av

fekailepartiklene er finpartikulære og kan ha effekter i den sonen eufotiske (øvre del av vannsøylen med tilstrekkelig lys for netto fotosyntese) (Husa et al. 2011).

De løste uorganiske næringsstoffer er næringssalter som skilles ut ved ekskresjon fra fisken. Disse tas raskt opp i planteplanktonet i den eufotiske sonen, men de tas også opp av makroalger i strandsonen. Noen makroalger utnytter ammonium bedre til vekst enn andre arter, særlig trådformede og bladformede ettårige arter, mens flerårige arter som tang ikke responderer på samme måte. Disse stoffene vil derfor kunne favorisere hurtigvoksende arter.

Løste organiske næringsstoffer (DON og DOP) er molekyler og partikler  $<0,2 \mu\text{m}$  som inneholder N eller P. Tilførselene av disse skjer primært ved lekkasje fra fekalier og fôrspill. Mens det som skyldes fôrspill sannsynligvis er lett utnyttbart for bakteriene i vannet, er det som kommer fra fekalier allerede fordøyd av laksen og har lavere biologisk tilgjengelighet og næringsverdi. DON og DOP representerer en mindre fraksjon av utslippene, stoffene er stabile og har generelt lang omsetningstid i det marine næringsnett, og er følgelig ikke særlig viktige for miljøforholdene i vannmassene (Anon 2011).

Disse ulike typene næringsstoffer vil potensielt kunne endre plantesamfunnene, både plankton og fastsittende, ved at de tilfører ekstra næring eller ved at næringssammensetningen (forholdet mellom stoffene) endres. Trolig spises en betydelig andel av fôrspillet av villfisk rundt anleggene, mens det meste av fekaliene faller til bunnen. Mye av fosforet og nitrogenet som er bundet til faste partikler forsvinner raskt ut av den belyste (eufotiske) sonen, og er derfor lite tilgjengelig som næring til planteplankton og større alger. Både pellets og fekalier brytes opp i mindre biter, og de ulike størrelsesfraksjonene spres forskjellig. Effekten disse utslippene har lokalt og regionalt vil avhenge av både hvor mye som faktisk slippes ut, og i tillegg i hvilken form. Vanligvis brukes modeller for å estimere hvor mye næringsstoffer som kommer fra oppdrett. Modellene har en del forutsetninger, slik som andel metaboliserbar energi, kostnader ved metabolisme, innhold av næringskomponenter (nitrogen og fosfor) i fôr og fisk, samt fôrfaktor osv. Eksempelvis beregner TEOTIL modellen som er utviklet av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) nitrogen og fosforutslipp som en massebalanse mellom tilført fôr og produksjon (levende og dødt). For 2011 estimerte modellen ett utslipp fra norsk havbruk på 48 620 tonn nitrogen, og 8 396 tonn fosfor (Selvik m. fl. 2012). Modellen differensierer ikke mellom typer utslipp. Andre modeller er den såkalte "Olsen-modellen" (Olsen & Olsen, 2008, Wang m. fl. 2012) og "Ancyclus-modellen" (Stigebrandt, 1999). Kjenner man bakgrunnsdataene kan en ut fra kjent fiskeproduksjon estimere utslippene av nitrogen og fosfor, og andelen som løst og partikulært (Tabell 1).

**Tabell 1.** Eksempel på utslipp av nitrogen og fosfor som prosent av fiskeproduksjon, beregnet ut i fra tre ulike modeller. Tallene benyttet er hentet fra tabell 5.1 i Anon 2011, eksemplifisert med produksjonen i Hordaland (74 764 tonn). Estimatenes er både temperaturavhengige, avhengig av førets sammensetting, og hvilke verdier som legges inn for fôrfaktor, fordøyelighet mm.

<b>Modell</b>	<b>Løst nitrogen</b>	<b>Partikulært nitrogen</b>	<b>Sum nitrogen</b>	<b>Løst fosfor</b>	<b>Partikulært fosfor</b>	<b>Sum fosfor</b>
Ancylus	1,030	2,349	3,379	0,170	0,375	0,544
TEOTIL			3,836			0,712
“Olsen”	3,322	1,235	4,557	0,361	0,562	0,923

Estimatene varierer både for totalt utslipp, men også for hvor stor andel som er løst eller partikulært betydelig mellom modellene (Tabell 1). Bergheim & Braaten (2007) angir Ancylus-modellen som den mest realistiske modellen for beregning av utslipp fra matfiskanlegg. Bruker en denne modellen, og antar en lakseproduksjon på 1 060 000 tonn i 2011, vil de totale utslippene av nitrogen og fosfor fra oppdrett av laks i Norge være henholdsvis 34 000 og 9 750 tonn i året. De andre modellene gir noe høyere estimater. Beregninger basert på Ancylus-modellen som forutsetter bruk av nyere fettrikt laksefôr viser at det pr 2012 slippes ut om lag 10,3 kg løst nitrogen i form av ammonium og 1,7 kg løst fosfor per tonn produsert fisk. Det vil anslagsvis tilføre 10 920 tonn løste nitrogenforbindelser og 1 800 tonn løst fosfor til norske kystområder årlig (Husa m. fl. 2013). Nitrogenutslipp fra torskeoppdrett er noe høyere per tonn produsert fisk enn for laks da andelen proteiner i torskefôret er betydelig høyere enn for laksefôr. De ulike modellene tar ikke høyde for at villfisk som oppholder seg ved oppdrettsanlegg kan spise mye av spillfôret. Basert på TEOTIL 2 modellen står oppdrettsnæringen for de største menneskeskapt utslippene av fosfor og nitrogen til norskekysten fra nord for Agder og Hordaland henholdsvis Selvik m. fl. 2013), men er relativt sett små i forhold til mengdene som naturlig tilføres med havstrømmene og migrerende villfisk.

### 2.1.2. GJØDSLINGSEFFEKTER

Oppløst nitrogen og fosfor slippes ut fra oppdrett som uorganiske forbindelser dannet ved fiskens metabolisme, og skilles ut via gjeller og nyrer. Disse næringsstoffene spres med strømmen, og fortynnes relativt raskt. Omtrent 15 % av fosforet slippes ut som oppløst, mens 70-90 % av nitrogenet frigjøres over gjellene (Hansen et al. 2011). Fosfor finnes normalt i rikelige mengder i sjøvann, og ekstra tilførsel av fosfor har derfor liten effekt på algevekst. Nitrogen er vanligvis begrensende for algevekst, spesielt sommer og høst. Tilførsler av næringsalter til fjorder og kystvann om vinteren (november-februar) vil i stor grad forbli ubrukt, men bidrar til å bygge opp vinterkonsentrasjoner samt bli transportert med vannutskifting fra fjorder ut i kyststrømmen. Målinger rundt anlegg viser at en kan spore disse

utslippene. I Hardangerfjorden ble det målt ammoniumkonsentrasjoner på 2-8  $\mu\text{mol}$  i nærheten ( $< 400$  m) av anlegg som produserer ca. 3000 tonn, men verdiene sank raskt til nesten ikke sporbare verdier på 500 meters avstand (Hansen m. fl. 2011). Tilsvarende er det målt økte verdier opptil 200-300 m fra merder rundt anlegg i Skottland, selv om disse er utført på anlegg med lavere produksjon, ca. 400 tonn (Sanderson m. fl. 2008). Hvis de tilførte mengdene næringssalter er relativt store, og fortykning av disse lite effektiv (lav strøm), kan utslippene føre til uønskete endringer i plantesamfunnet. Det er gjort en rekke undersøkelser av planktonforekomst nær oppdrettsanlegg (Gowen m. fl. 1983, Taylor m. fl. 1992, Pitta 1996, Pitta m. fl. 1998, 1999, 2006), men en har ikke kunnet påvise økte mengder. Det har vært diskutert om dette kan skyldes at planktonets oppholdstid i området er for kort, eller at økt primærproduksjon raskt blir spist opp av dyreplankton og således går inn i næringskjedene (Machias m. fl. 2005, Pitta m. fl. 2009).

Ser en på regionale effekter, estimerer Ancylus-modellen at det ble sluppet ut 11 580 tonn nitrogen og 1 911 tonn fosfor i oppløst form i 2011. Utslippene følger produksjonen, og blir derfor høyest i regionene med høyest produksjon. Effekten av utslippene vil avhenge av sjøareal, oppholdstid og grad av innblanding av andre vannmasser (vannsirkulasjon). Det er størst næringssalttilførsler fra oppdrett per flateenhet i Hordaland (0,42 tonn nitrogen/år/km<sup>2</sup>) og minst i Troms/Finmark (0,07 tonn nitrogen/år/km<sup>2</sup>). Om en antar at alt løst nitrogen fra oppdrett omsettes til planteplanktonproduksjon, vil dagens tilførsler øke produksjon med fra 0,6 % i Troms/Finmark til 4,8 % i Hordaland (2009 tall, Husa m. fl. 2013). Imidlertid er det stor variasjon både innen og mellom år i vannstrøm og konsentrasjoner av næringssalter i de ulike vannlag. Det ble for 1990 tallet beregnet at næringssaltutslippene fra fiskeoppdrett på strekningen Lista til Helgelandskysten (Leka) utgjør 1–1,5 % av den naturlige konsentrasjon i kyststrømmen (Skjoldal m. fl. 1997a). Fortsatt er tilførslene lave og utgjør bare rundt 2 % av næringstilførselen som kommer naturlig via havstrømmene. Årsaken til at utslippene ikke øker proporsjonalt med produksjonene skyldes at dagens fôr inneholder mindre protein og mer vegetabiliske oljer enn tidligere, noe som gir lavere relativt utslipp av nitrogen og fosfor sammenlignet med fôr som ble brukt tidlig på 90-tallet. Derfor ser en ikke den samme raske økningen i utslippene av de løste næringssaltene (Anon 2011), mens utslippene av partikulært nitrogen og fosfor følger produksjonen. Det beregnede bidraget fra fiskeoppdrett avtar til henholdsvis 0,4 %, 0,2 % og  $< 0,1$  % av naturlig tilstedeværende mengder i de tre nordligste regionene (Husa m. fl. 2013). Data fra oppdrettsintensive områder, Chile, Skottland, Middelhavet og Hardangerfjorden, viser at det er liten risiko for en regional overgjødning av frie vannmasser i områder med god vannutskifting (Gowen & Ezzi 1994, Soto & Norambuena 2004, Pitta m. fl. 2006, Husa m. fl. 2010). Hardangerfjorden har en svært høy oppdrettsaktivitet. Responsen i planteplanktonsamfunnene avhenger av vannets, og dermed næringssaltene oppholdstid i området. Vanntransporten i de øverste 20 meter av fjorden er 5000–7000 m<sup>3</sup> per sekund (Stigebrandt 2001). Med typiske nitrogen- og fosforverdier for kyst- og fjordvann utgjør utslippene fra oppdrett mellom 1 og 5 % av de totale tilførslene av næringssalter (Husa m. fl. 2013). Beregninger av effekten av nitrogenutslipp fra fiskeoppdrett på planteplanktonproduksjonen i Hardangerfjorden med en fjordmodell (NORWECOM) viser omtrent tilsvarende prosentvise bidrag i form av økte klorofyll *a*-verdier og primærproduksjon (1–6 %) i Hardangerfjorden (Skogen m. fl. 2009, Husa m. fl. 2013). Dette



indikerer at utslipp av næringsalter langs norskekysten, inkludert akvakultur, har ubetydelig innvirkning på næringsaltverdien i kystvannet (Skjoldal m. fl. 1997, Aure & Skjoldal 2003).

Både vinter og sommerverdier for nitrogenforbindelsene (nitrat, nitritt, ammonium) og total nitrogen (TOT N) i Hardangerfjorden er innenfor det intervallet som indikerer meget god vannkvalitet i følge Klima- og forurensingsdirektoratets (Klif) standard. Det samme gjelder fosfor og silikat. Fluorescensverdiene gir et mål på hvor mye klorofyll/planteplankton det er i fjorden. Resultatene fra disse målingene viser at gjennom sommermånedene ligger verdiene godt under 2,0 µg/l (grense for meget god vannkvalitet) og at det ikke er noen indikasjoner på unormale planktonblomstringer. Resultatene fra 3 års målinger ligger på samme nivå som kystvannet utenfor og viser ingen tegn på at Hardangerfjorden er overgjødslet, til tross for intensiv lakseoppdrett (Husa m. fl. 2012).

*Marint oppdrett innebærer utvilsomt store utslipp av næringsalter og organisk stoff til norskekysten, men utslippene er små i forhold til naturlig tilførsel av slike stoffer. Det antas derfor at det generelt er liten risiko både for vesentlig global og regional overgjødning av frie vannmasser, kanskje med unntak av lokale effekter i enkelte områder med spesielt dårlig vannutskifting og høy oppdrettsintensivitet.*

### 2.1.3. BENTISKE EFFEKTER

De partikulære utslippene består av spillfôr og fekalier. Mengde spillfôr bestemmes av fôringsregimet og vil variere fra anlegg til anlegg, og blir ofte antatt å være i størrelsesorden 3-5 % av utfôret mengde (Kutti 2008; Reid m. fl. 2008; Otterå m. fl. 2009). Mengde fekalier utgjør omkring 12,5 % av utfôret høyenergi laksefôr (Kutti 2008). De totale utslippene vil derfor følge produksjonen, med høyest utslipp i sommermånedene hvor veksten og derved utfôringen er høyest, og senere i produksjonssyklusen da biomassen da er større. Mengde fekalier produsert per kilo fôr avhenger av fordøyeligheten til fôret, lavere fordøyelighet gir økt mengde fekalier. Bruk av planteråstoff i fôr til laks har redusert fordøyeligheten noe, men regnes fortsatt som gunstig siden man erstatter begrensede marine råstoff. Imidlertid ser man også at mekanisk stabilitet på fekalieene påvirkes av fôrets sammensetting, og introduksjonen av planteproteiner har gjort fiskens avføring blekere, det har lavere tetthet og er mindre mekanisk stabilt (Brinker & Friedrich 2012). Resultatet er at fekalieene går lettere i oppløsning og brytes raskere opp i mindre partikler. Siden man i den landbaserte smoltproduksjonen i økende grad baserer seg på rensing og resirkulering av vannet, arbeider fôrprodusentene med utvikling av fôrresepter som gir økt fekaliestabilitet. Økt kunnskap om de ulike råvarers betydning, samt bruk av bindere, vil kunne åpne for produksjon av fôr som gir ønsket fekaliekvalitet også i den sjøbaserte produksjonen. Dette er kunnskap som kan bli spesielt nyttig i fremtidig utvikling av integrert multitrofisk akvakultur.

Fôrspill og fekalier har ulik synkehastighet. Fôrspill er fastere, og synkehastigheten for 4-10 mm store pellets er 6-11 cm/s (Yrong-Song m. fl. 1999). Fekaliene er skjøre og brytes lett opp

i mindre deler som synker med ulik hastighet. Intakte fekalier synker med 5 til 10 cm/s, og i overkant av 90 % raskere enn 2,5 cm/s. Mellom 5 og 10 % av fekalierne synker langsommere enn 0,1 cm/s (Husa m. fl. 2013). Slike svevepartikler kan holde seg i vannsøylen over lengre tid og spres til store områder. Fiskestørrelse synes ellers å ha lite betydning for fekalienes synkehastighet. Lokalteter med lave strømhastigheter (< 5 cm/s) vil få deponert det meste av det organiske materialet under og i den umiddelbare nærhet til anlegget, mens på lokaliteter med høye strømhastigheter (> 10 cm/s) vil partiklene spres over et større område, og derfor med relativt lite bunnfelling rett under merdene.

Utslipp av finpartikulert materiale kan påvirke grunne områder ved at det sedimenterer og påvirker samfunnene. I størrelsesorden 10-15 % av fekaliepartiklene er finpartikulære og utgjør "svevestøv" som kan ha spredning og effekt i eufotisk sone (Husa m. fl. 2013). Disse kan holde seg flytende lenge, og blir derfor tilgjengelig for dyr som filtrerer små partikler (dyreplankton, skjell). Det er også vist at næringen fra denne typen støv kan tas direkte opp av brunalgen *Sargassum* spp., og resultere i 10-30 % bedre vekst enn alger i områder uten slikt "svevestøv" (Australia, Schaffelke 1999). I Middelhavet er det funnet redusert vekst og forekomst av ålegress nær anlegg (inntil 400 m) (Diaz-Almela m. fl. 2008, Duarte m. fl. 2008). Utslipp fra fiskeoppdrett har også negative effekter på såkalte «maerl-beds» i Spania (Aquado-Giménez & Ruiz-Fernández 2012, Sanz-Lazaro m. fl. 2011) og i Skottland (Hall-Spencer 2006). Disse habitatene består av løstliggende kalkalger som gjerne finnes i strømrrike sund og som kan finnes i store forekomster, særlig fra Nordland og nordover. Når det gjelder effekter på andre viktige arter som man finner i grunne områder som kamskjell, haneskjell og hummer, finnes det oss bekjent ingen studier som sier noe om potensielle effekter. Mye finpartikulært materiale som sedimenterer i grunne områder kan også forårsake dannelse av hydrogensulfid og bakteriematter (*Beggiatoa* spp.).

En studie av flora og fauna på hardbunn ved 11 anlegg i Hardangerfjorden (0-25 meters dyp) kontra referansestasjoner 1 km fra anlegget viser at utslipp fra anlegg i liten grad påvirker de strukturerende artene (Hansen m. fl. 2011). Det er like mye tang og tare ved anleggene som det er på referansestasjonene. De fant heller ikke signifikante forskjeller i nedre voksegrenser for tare mellom anlegg og referansestasjoner. I indre deler av Hardangerfjorden er det en liten trend der en ser en viss grad av påvirkning fra anlegg, særlig der anleggene ligger nært land. Denne trenden består i en noe økt forekomst av tare, kråkeboller, sekkedyr og kalkrørsormer ved anleggene i indre del av fjorden (Husa m. fl. 2013). I tillegg til overnevnte undersøkelser har det vært utført vertikale transektundersøkelser med ROV (3 parallelle transekter per lokalitet) på 10 matfiskanlegg og på åtte referansestasjoner (1 km unna nærmeste anlegg) høsten 2010. Fem av anleggene ligger i midtre del av Hardangerfjorden og fem ligger i ytre del av fjordsystemet. Det var noe mindre tang ved anlegg enn på referansestasjonene, mens det i mindre grad kunne spores andre effekter. Forekomsten av tare ved anlegg og på referansestasjoner er relativt lik både i ytre og indre del (Husa m. fl. in prep). Observasjonene fra EPIGRAPH-prosjektet gir ikke dekning for å konkludere med at det i 2008 – 09 var en redusert forekomst av sukkertare i Hardangerfjorden sammenlignet med 1950-tallet (Anon 2011).

Både langs kysten og i fjordene er det sterkt varierende strøm og dyp, men strømforholdene er ofte ulike inne i fjordene og ute på kysten. Fjordlokaliteter kan ha god strøm i de øvre vannlagene, men ofte liten i de dypere vannlag. Anlegg lokalisert ved kysten har derimot ofte strøm i hele vannsøylen. Derfor blir fjordlokaliteter lettere utsatt for overbelastning enn kystlokaliteter. På lokaliteter med lite strøm, og hvor organisk stoff felles ut rett under eller i umiddelbar nærhet av anlegget, blir området like under anleggene sterkt påvirket, mens omkringliggende områder blir lite påvirket (Valdemarsen m. fl. 2012). På strømsterke lokaliteter blir derimot materialet spredt utover, og påvirker i mindre grad området rett under anlegget, samtidig som effekter kan spores over ett langt større område enn for strømsvake lokaliteter (Husa m. fl. 2013). Sedimentasjonsrater er målt både ved anlegg og 800 m fra anlegget, og i en fjord og ute ved kysten (Husa m. fl. 2013). Disse målingene viser at bunnen på fjordlokaliteten generelt ble tilført mer organisk materiale enn kystlokaliteten, og det økte kraftig utover produksjonssyklusen, fra omtrent 5 til 23 g C·m<sup>-2</sup>·dag<sup>-1</sup>. Kystlokaliteten hadde mye lavere og langt mer stabile verdier gjennom heleperioden, med mindre enn 2 g C·m<sup>-2</sup>·dag<sup>-1</sup>. Det var mye lavere, og samtidig liten variasjon i deponering av organisk stoff 800 m fra anleggene, men det var en tendens til at deponeringen var noe høyere for fjordlokaliteten. Påvirkning fra utslipp er i hovedsak observert når anlegget ligger svært nær land, i bukter og bakevjer, eller der strømmen fører utslippene inn over grunnere områder. Det ble i 2010 og 2011 gjennomført en undersøkelse av lokal påvirkning på hardbunn (0–20 meters dyp) ved 18 matfiskanlegg og på 16 referansestasjoner i Hardangerfjorden (Hansen m. fl. 2011). Forekomsten av makroalger og assosiert makrofauna (kråkeboller og sekkedyr) ble undersøkt ved hjelp av undervannsvideo. Denne undersøkelsen viser liten påvirkning på tarevegetasjonen ved anleggene i de ytre områdene, både forekomst og nedre voksegrenser var som på referansestasjonene. I de indre fjordområdene kan det være vanskelig å bruke forekomsten av tare som miljøindikator, da vegetasjonen på mange stasjoner er sterkt påvirket av kråkebollebeiting.

Hoveddelen av nitrogenet slippes ut fra matfiskanlegg som ammonium, som lett tas opp i alger og stimulerer økt vekst av hurtigvoksende makroalger med stort volum-/overflate ratio slik som tynne, bladaktige og trådformede arter. I kontrollerte forsøk i Østersjøen med utslipp av pulser av næring (P og N) økte mengde alger som vokser på (epifytter) tang og tare (Østersjøen, Worm & Sommer 2000), noe som kan redusere lystilgang samt konkurrere om næringssaltene og medføre en reduksjon av flerårige, sentvoksende arter som tang og tare. I Canada dyrker en blåskjell og tare i nærheten av lakseoppdrett, og har observert at disse vokser opptil 50 % bedre enn på kontrolllokaliteter. Disse produktene selges kommersielt (Reid m. fl. 2008, Troel m. fl. 2009). I tillegg viser både rødalgen søl og sukkertare bedre vekst når de dyrkes nær anlegg enn på en kontroll-lokalitet (Sanderson m. fl. 2006). Det er forsøk på gang for å avklare om multitrofisk oppdrett kan gjennomføres i Norge. Dette vil i så fall kunne redusere de totale utslippene fra oppdrett, og i tillegg nyttiggjøre mer av næringsstoffene som tilføres oppdrettsanleggene (Wang m. fl. 2012).

Bunndyrsamfunnet er en følsom indikator for organisk påvirkning og blir også mye brukt til overvåking (Black 2002). Ofte kan man se en gradient ut i fra oppdrettsanleggene, hvor det nært merdene er en artsfattig sone, med store forekomster av noen få opportunistiske arter.

Deretter, i en overgangssone, blir bunndyrsamfunnet stimulert med høyere antall arter, mens lengst ute er samfunnet vurdert til å være upåvirket, selv om en kan spore stoffer fra anlegget (Kutti m. fl. 2008). Fastsittende fauna på dype hardbunnslokaliteter (100–200 m) er sensitive for sedimentering av organisk materiale (Hansen m. fl. 2011). Verken fastsittende organismer som svamper og eller andre dyregrupper ble funnet i en avstand på minst 75 meter fra anleggene, og bunndyrsamfunnene var totalt dominert av opportunistiske børstemakk, men generelt er det lite kunnskap både om forekomst og utbredelse av denne type habitater i områder med fiskeoppdrett, eller hvordan denne type habitat kan påvirkes av utslipp fra oppdrett (Tangen & Fossen 2012). Det er antatt at organisk avfall fra oppdrettsanlegg kan ha en effekt på sårbare habitater som korallrev, hornkorallhabitater på bløt og hardbunn, svampsamfunn, krepsebunn, rekefelt, ikke bare på grunn av nedslamming, men også fordi organisk materiale forbruker oksygen når det brytes ned (Weber m. fl. 2006, 2012, Husa m. fl. 2013). Det er foreløpig få studier som har analysert effekten av utslipp av næringsalter og organisk materiale på sårbare habitat som koraller, korallskog, svamper, ålegressenger, osv.

Nedbrytningen av organisk stoff forbruker oksygen. Dersom forbruket er større enn tilførslene oppstår det oksygenmangel i sedimentene, som blir anoksiske. Det er vist at sedimentene over tid kan omsette en tilførsel på  $3,1 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$ , mens en tilførsel over  $12 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$  gir overbelastning. Det er imidlertid ikke kjent hvor grensen for overbelastning ligger (Valdemarsen m. fl. 2012). Anoksiske nedbrytningsprosesser er langsomme, og det organiske avfallet bygger seg lettere opp, og det vil utvikles giftige gasser som dreper bunndyrene. Det kan også dannes gassbobler med giftig gass, som kan transportere partikler og smittestoffer oppover i vannsøylen og potensielt skade fisken i merdene (Brown m. fl. 1987; Weston 1990; Hall m. fl. 1990; Hansen m. fl. 1991; Holmer & Kristensen 1992; Hargrave m. fl. 1993; Findley & Watling 1995; Holmer & Kristensen 1996; Karakassis & Hatziyanni 2000; Kutti m. fl. 2007, Kutti m. fl. 2008; Valdemarsen 2012). Det er først og fremst hastigheten på vannstrømmen som bestemmer spredningen av avfallet, mens bunnstrømmen (via oksygentilførsel) og dybden under anleggene som styrer i hvilken grad det vil bygges opp anoksiske deponier. Bunnpåvirkningen kan derfor estimeres ved å måle oksygenforbruket. På en strømrisk oppdrettslokalitet ble det innledningsvis funnet lavt oksygenforbruk (ca  $60 \text{ mmol O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$ ), men denne økte mot slutten av produksjonen til omtrent  $100 \text{ mmol O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$ . På en strømsvak lokalitet var oksygenforbruket mye høyere allerede ved starten, nesten  $200 \text{ mmol O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$ , og forble nesten like høyt i hele produksjonssyklusen (Valdemarsen m. fl. 2012). Bunndyrsamfunnet på den strømrrike lokaliteten var tydelig stimulert av tilførslene av organisk stoff, og forble rikt i hele syklusen. På den strømsvake lokaliteten derimot, var bunndyrene borte og anoksiske nedbrytningsprosesser hadde tatt over, lokaliteten var tydelig overbelastet. Stasjonene 800 meter borte fra lokalitetene viste for den strømrrike lokaliteten en viss påvirkning, mens for den strømsvake var det liten effekt (Husa m. fl. 2013).

Over flere tiår har forskningen forsøkt å redusere organisk avfall ved å optimalisere diettene. Bruk av høykvalitets lettfordøyelige proteiner og lipider, hovedsakelig fiskemel og fiskeoljer har erstattet råvarer med lavere fordøyelighet (Cho m. fl. 1994; Nijhof, 1994, Cho & Bureau, 1997). Grunnet begrenset tilgang til marine fôrråstoffer regnes ikke dette som bærekraftig (Hardy 1996), og utviklingen er dermed endret til å erstatte fiskemel og fiskeoljer. Det foregår

en massiv forskning på bruk av alternative fôrkilder, men hittil er det fokusert lite på hvordan dette kan påvirke sammensettingen av organisk avfall fra oppdrett, og implisitt også hvordan miljøet kan påvirkes. Mange av de nye undersøkelsene er dog gjort med ”moderne” fôr. Større fokus på lukkede anlegg og vannrensing, spesielt i smoltproduksjon, gjør at effekter på fekaliemiljøet er en stadig større del av fôrutviklingen. Kunnskapen som genereres er basert på forskning for å bedre vannkvaliteten i resirkuleringssystemer (Amirkolaie m. fl, 2005; Brinker & Friedrich 2012). Økt kunnskap om hvordan råvarer, og eventuelt bindere, påvirker stabiliteten på organisk avfall fra oppdrett, vil åpne for muligheten til i større grad å bestemme fekaliens beskaffenhet. Bruken av nye ingredienser kan påvirke både totale utslipp, og fraksjonen av dette som partikulært og oppløst materiale. En vet for eksempel at utslippene av fosfor og nitrogen fra oppdrett av regnbueørret ble lavere når 75 % av fiskemelet ble erstattet med soyamel (Cruz Castro m. fl. 2011). I tillegg blir ofte fôret tilført økte nivåer av fosfor og ulike sporelementer. Det er målt forhøyede nivåer av sink, kobber, kadmium og mangan i sedimenter under oppdrettsanlegg (Lall & Milley 2008). I tillegg inneholder vegetabiliske råstoffer både antinæringsstoffer (Krogdahl m. fl. 2005) og stoffer som er lite fordøyelige for laks, slik som fiber. Foreløpig har en lite kunnskap om hvordan dette vil påvirke omsetningen av organisk avfall fra oppdrettsanlegg.

*Selv om marint oppdrett nødvendigvis medfører utslipp av oppløste næringsstoffer, fekalier og fôrspill, ser effektene i områder med lite strøm ut til normalt å være begrenset til anleggets nærområde, ut til ca 500 meter. I området med mer strøm blir effekten blir mindre, men kan da spores opp til 3 km fra anleggene. Organisert brakklegging av oppdrettslokaliteter vil bidra til å redusere lokal påvirkning.*

## TILTREKNING AV FISK TIL OPPDRETTSANLEGG

Tilførsel av organiske biprodukter fra havbruk, i form av spillfôr eller fekalier, kan også påvirke strukturen på villfisksamfunnene i nærheten av oppdrettsanlegg. Organiske restprodukter fra havbruk kan representere en ressurs og dermed bety at villfisk oppfatter oppdrettsanlegg som et fordelaktig habitat med god tilgang på føde, samt også skjulesteder, noe som innebærer at villfisk tiltrekkes slike installasjoner (Sanchez m. fl. 2011). Globalt er omlag 160 fiskearter, fordelt på 60 familier, detektert i umiddelbar nærheten av oppdrettsanlegg (Sanchez m. fl. 2011). I Norge er 15 fiskearter og 9 familier påvist i nærheten av oppdrettsanlegg (Dempster m. fl. 2009). Mange av disse antas å være tiltrukket av oppdrettsanleggene på grunn av at anleggene oppfattes som gode habitat. Tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg er dokumentert i Norge (Bjordal & Skar 1992, Dempster m. fl. 2009, 2010, 2011) og i sju andre land (Spania: Dempster m. fl. 2002, 2004; Boyra m. fl. 2004; Tuya m. fl. 2006, Skottland: Carss 1990, Hellas: Machias m. fl. 2006, USA: Collins 1971; Oakes & Pondella 2009; Johnstone m. fl. 2010, Indonesia: Sudirman m. fl. 2009, Brasil: Demetrio m. fl. 2012, Tyrkia: Akyol & Ertosluk 2010). Det er videre vist at villfisk tiltrekkes oppdrettsanlegg for mer enn 10 oppdrettsarter (Tabell 2).

Tabell 2. Oversikt over oppdrettsarter hvor villfisk er dokumentert å bli tiltrukket av oppdrettsinstallasjonene. Det er i tillegg også rapportert at villfisk tiltrekkes oppdrettsanlegg for ørnefisk (*Argyrosomus regius*) (Sanchez-Jerez pers medd.)

Norsk navn	Latin	Referanse
Laks	<i>Salmo salar</i>	Carrs 1990, Dempster m. fl. 2009
Regnbue ørret	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Carrs 1990
Havabbor	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Dempster m. fl. 2002; Boyra m. fl. 2004
Dorade (Havkaruss)	<i>Sparus aurata</i>	Dempster m. fl. 2002; Boyra m. fl. 2004
Makrellstørje	<i>Thunnus thynnus</i>	Bacher m. fl. 2012
Hvit havbabbor	<i>Atractoscion nobilis</i>	Oakes & Pondella 2009
Brown marbelled grouper	<i>Epinephelus fuscoguttatus</i>	Sudriman m. fl. 2009
Kamelfisk	<i>Cromileptes altivelis</i>	Sudriman m. fl. 2009
Kaninfisk	<i>Siganus spp</i>	Sudriman m. fl. 2009
Kanal malle	<i>Ictalurus punctatus</i>	Colins 1971
Nilmunnruger	<i>Oreochromis niloticus</i>	Demetrio m. fl. 2012
Ørnefisk	<i>Argyrosomus regius</i>	Sanchez-Jerez pers medd

Det er vist at til dels store mengder fisk kan tiltrekkes oppdrettsanlegg. I Norge har Dempster m. fl. (2010) anslått et gjennomsnitt på rundt 10 tonn villfisk periodevis samlet rundt oppdrettsanlegg på ett gitt tidspunkt i sommerhalvåret. Siden Dempster m. fl. (2009, 2010) kun estimerte biomasse i et volum som tilsvarer en distanse på 5 meter fra merdene er dette trolig et underestimert. Dette støttes av observasjoner fra Ryfylke som har påvist betydelig større mengder; anslagsvis 100-200 tonn sei under anlegg (J.H. Nøstbakken pers med). I Middelhavet er det estimert at oppdrettsanlegg kan tiltrekke seg inntil 40 tonn villfisk (Fernandez-Jover m. fl. 2008)

Det er også mulig at villfisk kan tiltrekkes skjellanlegg, siden skjell og påvekstorganismer kan være føde for villfisk, og fordi skjellanlegg kan representere kunstige habitat med adekvate skjulesteder og andre fordeler for villfisk (D'Amours m. fl. 2008). Hvorvidt villfisk tiltrekkes skjellanlegg er oss bekjent hittil ikke undersøkt i Norge. Det er imidlertid påvist at Kanadiske skjellanlegg kan tiltrekke seg relativt små mengder krepsdyr og villfisk, hovedsakelig krabber og flyndrer, på grunn av økt fødetilgang på bunnen under oppdrettsanleggene (Clynic m. fl. 2008; D'Amours m. fl. 2008). Tilsvarende studier i New Zealand har imidlertid vist at mengde villfisk i nærheten av oppdrettsanlegg er mindre enn på enkelte av kontroll-lokalitetene og at det ikke ble påvist økte mengder av kommersielt aktuelle arter ved skjellanlegg (Morrisey m. fl. 2006).

Tilgangen på spillfôr er trolig den viktigste årsaken til at villfisk tiltrekkes oppdrettsanlegg. Dersom oppdrettsfisken ikke spiser alt fôret vil det synke ned gjennom bunnen eller sidene av merden og bli tilgjengelig for villfisk, som enten kan spise fôret mens det er i vannsøylen (Fernandez Jover m. fl. 2007, 2010; Dempster m. fl. 2011) eller etter at det har nådd bunnen (Sanz-Lazaro m. fl. 2011). Det er påvist at mange villfiskarter kan spise spillfôr fra oppdrettsanlegg, både i Norge og i andre land (Tabell 2). Det er også vist at tiltrukket fisk i hovedsak oppholder seg svært nær oppdrettsanlegg (< 25m), det vil si innen en avstand der tettheten av spillfôr trolig er høyest (Dempster m. fl. 2010).

Det er gjort få systematiske forsøk på å måle i hvor stor grad spillfôr utgjør dietten til villfisk i nærheten av oppdrettsanlegg. For å få representative data på dette er det nødvendig å måle innslag av spillfôr i dietten til villfisk ved flere oppdrettsanlegg og over en lengre periode. I Norge er det påvist at laksepellets i gjennomsnitt utgjorde henholdsvis 71 % og 25 % av dietten til sei og torsk fanget i nærheten av oppdrettsanlegg i sommerhalvåret (Dempster m. fl. 2011). Nesten 44 % av seien hadde pellets i magesekken, mens den tilsvarende andelen for torsk var 20 %. Sei og torsk fanget på kontroll-lokaliteter hadde ikke laksepellets i magesekken. I dette studiet ble innslaget av spillfôr målt ved 9 lakseanlegg i tre regioner tre ganger i løpet av en sommer, og resultatene reflekterer derfor ikke nødvendigvis situasjonen i vinterhalvåret (Dempster m. fl. 2011). Det var i dette studiet kun sei (N=570) og torsk (N=345) som ble fanget i et tilstrekkelig antall til å kunne gjennomføre analyser av spillfôr i dietten (Dempster m. fl. 2011). Sæther m. fl. 2012 viste også at torsk av ulik størrelse varierte med hensyn til hvor mange som hadde pellets i mageinnholdet. Andelen av torsk som var mindre (N=34) eller større (N=46) enn 60 cm som hadde spist pellets var henholdsvis 32 % og 11 % (Sæther m. fl. 2012). Også for andre arter kan innslag av pellets i dietten være betydelig (Tabell 3). Det eksisterende kunnskapsgrunnlaget tyder derfor på at det er svært sannsynlig at tilgjengelighet til spillfôr er en viktig faktor for tiltrekning av vill marin fisk til fiskeoppdrettsanlegg.

Det er også mulig at villfisk tiltrekkes oppdrettsanlegg av andre årsaker enn spillfôr. Det er hittil ikke publisert resultater som viser at villfisk spiser fekalier fra oppdrettsfisk, hverken i Norge eller i andre land. Fra studier gjennomført ved Havforskningsinstituttet er det vist at sei rundt oppdrettsanlegg spiser spillfôr, men heller ikke der fant de klare indikasjoner på at fisken spiste fekalier (Otterå m. fl. 2007). Dette kan kanskje delvis skyldes at konsistensen på fekaliene gjør at det er vanskelig å bestemme innslaget i dietten til villfisk. Det er derfor

mulig at fekalier blir kategorisert som uidentifiserbart mageinnhold eller detritus/sedimenter (Dempster m. fl. 2011, Demetrio m. fl. 2012). Siden det ikke er gjort målrettede forsøk på å måle om villfisk spiser laksefekalier (f.eks. ved å måle biokjemisk innhold i mageinnhold) og villfisk som oppholder seg ved oppdrettsanlegg har en svært varierende diett, kan det ikke utelukkes at enkelte arter kan spise fekalier og at dette også kan bidra til tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg.

En annen mulig årsak til tiltrekning er at større villfisk lokkes til oppdrettsanlegg fordi mindre byttedyr også samles der. Både Dempster m. fl. 2011 og Sæther m. fl. 2012 dokumenterte at større torsk og sei fanget ved oppdrettsanlegg hadde spist mindre fisk, hovedsakelig småsei, som trolig var tiltrukket anlegg på grunn av tilgang på spillfôr. Serra-Linares m. fl. (2013) viste også at større torsk og sei som oppholdt seg ved et torskeanlegg hadde spist rømt torskeyngel og andre fiskearter. Det er videre observert lokale konsentrasjoner av raudåte (*Calanus finmarchicus*) ved lakseanlegg, kanskje fordi anleggstrutturene fungerer som planktonoppsamlere (Uglen pers. obs.). Det er samtidig også observert store stimer makrell (*Scomber scomber*) ved de samme lakseanleggene. Analyser av mageprøver har vist at raudåte er en del av dietten til makrell fanget ved anlegg (Dempster upubliserte data), noe som kanskje kan bety at lakseanlegg «fanger opp» raudåte som igjen tiltrekker seg makrell. Det er også vist at oppdrettsanlegg kan tiltrekke seg større rovfisk i Middelhavet, der blåfisk (*Pomatomus saltatrix*) svært ofte blir observert både utenfor og inni merdene for havabbor og dorade (Sanchez-Jerez m. fl. 2008). Det antas at denne arten biter hull på notveggen for å få tak i oppdrettsfisken. Det er videre kjent fra studier både i Nord- og Sør-Amerika, samt i Skottland, at oppdrettsanlegg tiltrekker seg sjøpattedyr og fugler på grunn av tilgang på ulike typer byttedyr (f. eks. Carss 1990; Morris 1996; Sepúlveda & Oliva 2005), en problemstilling som også er kjent i Norge. Det er derfor sannsynlig at større predatorer kan tiltrekkes oppdrettsanlegg på grunn av at mindre byttedyr oppholder seg der og at tiltrekning av ulike flere arter over ulike trofiske nivå kan medføre at «kunstige oppdrettsanleggsnæringskjeder» oppstår. Det er også spekulert i at oppdrettsanlegg tiltrekker seg villfisk fordi de representerer skjulesteder for fisken, Dette er så vidt vi vet ikke dokumentert, siden studier av tiltrekning til tomme anlegg over en relativt lang tidsperiode er nødvendig for å kunne skille effekter fra tilgang på spillfôr og mindre byttedyr fra eventuelle effekter av tilgang på egnede skjulesteder.

*Det er vist at forholdsvis store mengder villfisk kan tiltrekkes oppdrettsanlegg. Årsaken til dette er trolig tilgang på spillfôr, men tilgang på mindre byttedyr og skjulesteder kan også bidra til tiltrekning av villfisk.*



Tabell 3. Oversikt over fiskearter som er påvist å spise spillfôr fra oppdrettsanlegg. Engelske artsnavn er brukt for arter som ikke har norske navn. Andel med pellets referer til andelen av fisk samlet inn ved oppdrettsanlegg med pellets i mageinnholdet. I tillegg til rømt oppdrettslaks er det også rapportert at rømt havabbor, dorade og ørnefisk kan spise spillfôr (Sanchez-Jerez pers medd.)

Art, norsk eller engelsk navn	Latinsk navn	Land	Andel m/pellets	Referanse
Regnbueøretret	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Skottland	30-73 %	Carss 1990
Sei	<i>Pollachius virens</i>	Skottland, Norge	14-60 %	Carss 1990, Skog m. fl. 2003, Bjordal & Johnstone 1993, Bjørn 2009, Dempster m. fl. 2011
Torsk	<i>Gadus morhua</i>	Norge	11-32 %	Dempster m. fl. 2011; Sæther m. fl. 2012
Laks (rømt)	<i>Salmo salar</i>	Norge	80 %	Olsen & Skilbrei 2010
Okseøyefisk	<i>Boops boops</i>	Spania	90 %	Arechavala-Lopez m. fl. 2010
Hestemakrell	<i>Trachurus mediterraneus</i>	Spania	67 %	Fernandez-Jover 2008
Gaffelmakrell	<i>Trachinotus ovatus</i>	Spania	80 %	
Multer	<i>Liza aurata, Liza ramada, Chelon labrosus, Mugil cephalus</i>	Spania	78 %	Fernandez-Jover 2008
Rund sardinell	<i>Sardinella aurita</i>	Spania	80 %	Fernandez-Jover 2008
Fembåndet sergentfisk	<i>Abudefduf vaigiensis</i>	Indonesia	-	Sudirman m. fl. 2009
Sortbåndet musketerfisk	<i>Pterocaesio tile</i>	Indonesia	-	Sudirman m. fl. 2009
Violet damsel	<i>Neopomacentros violascens</i>	Indonesia	-	Sudirman m. fl. 2009
Fingerfisk	<i>Monodactylus argenteus</i>	Indonesia	-	Sudirman m. fl. 2009
Neotropical catfish	<i>Iheringichthys labrosus</i>	Brasil	15-32 %	Demetrio m. fl. 2012
Spotted metynnis	<i>Metynnes maculatus</i>	Brasil	17-52 %	Demetrio m. fl. 2012
Ikke tilgjengelig	<i>Pimelodus maculatus</i>	Brasil	50-98 %	Demetrio m. fl. 2012
Paraguay River eartheater	<i>Satanoperca pappaterra</i>	Brasil	29 %	Demetrio m. fl. 2012
Graceful pimelodella	<i>Pimelodella gracilis</i>	Brasil	-	Demetrio m. fl. 2012
Noja	<i>Pseudauchenipterus galeatus</i>	Brasil	-	Demetrio m. fl. 2012

## 2.2.EFFEKTER AV TILTREKNING AV FISK

Tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg kan påvirke både økosystemene og ulike brukere av kystsonen (m.a.o. ulike interessentgrupper). De ulike artene som tiltrekkes anlegg kan biologisk sett påvirkes gjennom endret fysiologi eller atferd på individnivå og/eller fordeling og tilstedeværelse i tid og rom. Tiltrekning kan også påvirke mange interessentgrupper, men fiskeri-, oppdretts- og turistnæringene er trolig de som påvirkes mest. Vi vil i dette avsnittet primært ta for oss hvordan mulige økologiske endringer på grunn av tiltrekning til oppdrettsanlegg kan påvirke disse tre interessentgruppene. Hvordan økologiske endringer som følge av tiltrekning kan tenkes å påvirke bestandsdynamikk hos villfisk, gjennom effekter på reproduksjonspotensiale, overlevelsessevne eller fordeling i tid og rom vil bli oppsummert i kapittel 3.

### 2.2.1. ROMLIG FORDELING AV FISK – BEGRENŚINGER FOR FISKERI?

Tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg kan påvirke både tilgjengeligheten og kvaliteten på villfisken. Siden oppdrettsanlegg av ulike årsaker kan tiltrekke seg store mengder villfisk kan de fungere som kunstige rev (Bortone 2011) og/eller såkalte «fish attracting devices, FADs» dersom de aggregerte organismene utnyttes i kommersiell sammenheng (Sanchez m. fl. 2011). De kommersielle fiskeartene som aggregeres ved oppdrettsanlegg i Norge er i hovedsak fiskearter som vandrer eller oppholder seg på andre steder enn i nærheten av oppdrettsanleggene under gytasesongen (e.g. Dempster m. fl. 2009; 2010; 2011). Det er derfor naturlig å anta at oppdrettsanlegg primært fører til økt biomasse ved at tilførsel av fiskefôr innebærer ekstra vekst hos fisk som samles ved anleggene, og ikke ved at oppdrettsstrukturene *per se* fører til økt populasjonsstørrelse i form av økt antall individ. Det finnes så vidt vi vet ingen estimater på i hvilken grad tiltrekning til lakseanlegg fører til økt biomasse, men dette vil trolig være en funksjon av fôrtapet. Siden det ikke finnes publisert og pålitelig kunnskap vedrørende fôrtap i lakseoppdrett i Norge er det vanskelig å estimere økt biomasse som følge av tiltrekning til anlegg. Det faktum at fôrtapet er antatt til å være i størrelsesorden 3-5 % av det totale fôrforbruket, indikerer at det er et klart potensiale for at tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg fører til en betydelig økt biomasse. Det er videre også mulig at tiltrekning av fisk til oppdrettsanlegg og implisitt økt tilgang på ressurser indirekte fører til økt fekunditet, men det er uklart i hvilken grad dette skjer og om dette fører til en reell økning av reproduktivt potensiale (se kapittel 3, og Dempster m. fl. 2011).

Aggregering av fisk ved oppdrettsanlegg representerer derfor i første rekke trolig en oppkonsentrering av fisk som normalt sett ville oppholdt seg andre steder i fjordsystemene. Det er vist at både torsk og sei oppholder seg ved lakseanlegg i større grad enn andre steder, at de kan være der i lange perioder og at de vandrer mellom ulike lakseanlegg i samme fjordsystem (Uglem m. fl. 2008; 2009, Otterå og Skilbrei 2012).

Fisken nær anlegg er i stor grad utilgjengelig for fiskere med tradisjonelle redskaper og lokalitetens beskaffenhet med hensyn til nøter, tauverk og forankringer legger sterke begrensinger på bruk av aktive redskaper. Det er i dag ikke anledning til å fiske innenfor en

sikkerhetssone på 100 meter inntil anleggene. En ny undersøkelse tyder på at denne sikkerhetssonen beskytter det meste av torsk og sei som aggregeres rundt anlegget mot fiske på dagtid (Dempster m. fl. 2010). Hvorvidt dette reduserer mulighetene for fangst av denne fisken er uklart, og vil avhenge av fordeling og vandringer til andre tider på døgnet. I tilfeller hvor båter har fisket nær anlegg finnes det eksempel på at kystflåtefartøy har tatt hele torskekvoten sin der (Maurstad m. fl. 2007). Totalt sett tyder tilgjengelig informasjon fra studier og fra fiskerhold på at 100 meters-sonen rundt anleggene er et effektivt hinder for å kunne fiske på aggregerte bestander. For å kunne utnytte disse konsentrasjonene må det derfor utvikles metoder og redskaper som kan benyttes innenfor forbudssonen. I et prosjekt avsluttet i 2012 ble det fisket med teine nær oppdrettsanlegg. Resultatene var lovende men viser at fiske kun er økonomisk interessant om det foregår innenfor sikkerhetssonen (Sæther m.fl. 2012). Tilpasning av eksisterende eller utvikling av ny teknologi og metoder for fangst av fisk under og like ved anleggene vil kunne være et viktig steg i retning av å harmonisere forholdet mellom fiskeri og havbruk. Dette vil gi lokale fiskere tilgang til fisk rundt anleggene uten at de kommer i konflikt med oppdrettsanleggenes produksjon eller på noen måte er til skade eller hinder for oppdretter.

Konsentrasjon av villfisk ved anlegg kan i tillegg medføre at fisken ikke oppholder seg på tradisjonelle fiskeplasser. Dette kan være uheldig siden det kan medføre at det blir mindre fisk til konvensjonelle fiskerier dersom fisken flytter seg fra feltene der den er tilgjengelig for fiskerne og oppholder seg i fiskeforbudssonen rundt oppdrettslokaliteter. Det er oss bekjent ikke gjennomført systematiske undersøkelser for å dokumentere om og i hvilken grad tiltrekning av villfisk reduserer reell ressurstilgang for lokale fiskerier. På den andre siden kan åpning for fiske nærmere enn 100 meter fra anlegg føre til at blir lettere å fange fisken enn det som er tilfelle under normalt fiske siden fisken er samles på et lite og definert areal (Sanchez m. fl. 2011). Dersom det åpnes for fiske ved anlegg bør det også vurderes om dette kan medføre økt risiko for overbeskatning og om det er relevant å innføre kvotebegrensninger.

*Tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg kan påvirke ressurstilgjengelighet både for lokale kommersielle fiskerier og rekreasjonsfiskere, siden det ikke er tillatt å fiske innen en sikkerhetssone på 100 meter fra anleggene. Det er her behov for systematiske undersøkelser for å dokumentere om og i hvilken grad tiltrekning av villfisk reduserer reell ressurstilgang for ulike fiskerier, og eventuelt om, hvor og når denne fisken kan eller bør beskattes.*

### 2.2.2. KVALITET PÅ VILLFISK - EFFEKTER PÅ FISKERI

Aggregering av villfisk ved oppdrettsanlegg kan påvirke villfiskens konsumkvalitet eller matvaresikkerheten. Endringer i konsumkvalitet innebærer at egenskaper som smak, tekstur, utseende og lukt endres, mens negative endringer i matvaresikkerhet kan bety at fisken vil være helseskadelig å spise, for eksempel på grunn av for høyt innhold av giftstoffer.

#### *Kjøttkvalitet hos villfisk assosiert med lakseanlegg – erfaringsbasert viten*

Problemer relatert til redusert konsumkvalitet hos sei og torsk som har spist laksepellets og som har blitt fisket i nærheten av oppdrettsanlegg har blitt viet betydelig oppmerksomhet i media det siste tiåret. Fiskere langs hele kysten hevder at såkalt pelletssei er bløt i kjøttet og ofte ikke mulig å omsette. For eksempel stoppet fiskemottak i Ryfylke kjøp av sei i 2008 grunnet kvalitetsavvik; ”den var misfarget og feit, fiskekjøttet dårlig sammenbundet og konsistensen som deig”. Det ble sagt at dette var fisk som beitet på pellets og lakseavføring fra oppdrettsanlegg. Lignende problemer for kystfiskeriene har, oss bekjent, ikke blitt rapportert i forhold til andre oppdrettsarter enn laksefisk, andre villfiskarter enn sei, lyr og torsk eller i andre land enn Norge.

Det har ikke vært gjennomført systematiske undersøkelser for å evaluere i hvilken grad kvalitetsreduksjon hos fisk på grunn av tiltrekning til lakseanlegg oppfattes som et problem. Et unntak er Fossen (2012) som konkluderte med at kvalitetsreduksjon hos sei kan antas å være et begrenset problem på Nordmøre. Denne konklusjonen er imidlertid basert på et lite, lokalt og ufullstendig datamateriale.

Som en del av denne kunnskapsoppsummeringen ble det derfor gjennomført en pilotundersøkelse der ni fiskemottaksanlegg langs hele norskekysten ble kontaktet. Fiskemottaksanleggene som ble valgt ut ligger i områder med mye lakseoppdrett og mottar jevnlig fisk fra fjordfiskeflåten. Mottakene ble kontaktet per telefon og stilt følgende seks spørsmål (se vedlegg for detaljert oversikt over spørsmål og svar):

1. Oppfattes pelletssei som et problem?
2. I så fall - hvor stort?
3. Har dere fått klager på pelletssei?
4. Er omfanget endret de siste årene?
5. Hvorfor er eventuelt omfanget endret?
6. Kan pelletssei brukes til noe?

To av de ni mottaksanleggene svarte at pelletssei pr i dag ikke oppfattes som et problem. Tre svarte at pelletssei ble oppfattet som et periodevis problem, mens fire hevdet det var et konstant problem. To av fiskemottakene som oppfattet pelletssei som et problem, mente at det var et stort problem. De andre 5 mente det var et lite eller mer begrenset problem i forhold til den totale seifangsten, dvs. sei fisket både innen- og utaskjærs. Sju av de ni mottakene hadde enten fått klager på pelletssei eller de sorterte ut fisk av dårlig kvalitet før levering. Fem av de sju som oppfattet pelletssei som et problem, hevdet at problemet hadde blitt mindre de siste årene, blant annet fordi fiskerne ikke lenger fisker på steder der de kan få mye pelletssei.

I forhold til kvalitet ble pelletssei av flere mottaksanlegg sammenlignet med loddetorsk eller såkalt «åtebefengt» fisk, det vil si fisk som har hatt en diett med høyt fettinnhold (for eksempel lodde, sild, silderogn). I henhold til mottaksanleggene er både pelletssei og åtebefengt fisk bløt/løs i kjøttet, filten kan være svært spaltet og fisken tåler mindre lagring enn magrere fisk før den blir ubrukelig. Noen av fiskemottakene mente at pelletssei kunne saltet og brukes til klippfisk eller i fiskemat. Det ble også poengtert at kvaliteten på pelletssei bedres dersom den behandles riktig. I denne sammenhengen innebærer riktig behandling at fisken fanges levende på juksa eller garn som settes i svært korte perioder (2-3 timer, dvs stubbing), at fisken bløgges umiddelbart og legges i kaldt vann eller is-slurry til sløying og at den deretter lagres på is i små enheter for å unngå trykk inntil filetering eller videre prosessering.

*Den erfaringsbaserte kunnskapen angående kvalitet på sei som har spist laksefôr ved oppdrettsanlegg indikerer at pelletssei oppfattes som et periodevis problem for fjordfiskere i områder med mye oppdrett, siden den er bløt og løs i kjøttet. Problemet oppfattes som mindre per 2012 enn for kun noen år siden, blant annet fordi fiskerne unngår å fiske på steder der de får mye oppdrettsassosiert fisk siden de ikke får solgt den. Det hevdes imidlertid at det er mulig å bruke oppdrettsassosiert sei, dersom den fanges levende på riktig tid og prosesseres på riktig måte.*

#### *Kvalitet på fisk ved lakseanlegg – forskningsbasert viten*

Det er utført flere vitenskapelige studier der kvalitet på fisk fanget ved oppdrettsanlegg er sammenlignet med fisk fanget andre steder. Skog m. fl. (2003) sammenlignet kvalitet på småsei (30-37 cm lengde) fanget i en fjord med og en fjord uten oppdrett i Nordland (Tabell 4). Nesten halvparten (46 %) av fisken som ble fanget i nærheten av oppdrettsanlegg hadde laksefôr i magesekken, og fettsyreprofiler indikerte at fisk fanget nært oppdrettsanlegg fysiologisk sett var preget av inntak av laksefôr (Skog m. fl. 2003). Konsumkvalitet ble evaluert ved bruk av smakspanel og blindtesting (Lea m. fl. 1995; Skog m. fl. 2003). Smakspanelet konkluderte med at småsei fanget i en fjord uten oppdrett smakte bedre enn sei fanget i en oppdrettsfjord. På en skala fra 1 til 9, der 9 representerer «svært god», ble fisk fanget like ved oppdrettsanlegg gitt en gjennomsnittlig smaksindeksverdi i underkant av 5, mens fisk fanget i en oppdrettsfri fjord ble gitt en indeks på om lag 7. Gjennomsnittlig leverindeks (HSI) for sei fanget like ved oppdrettsanlegg eller i en oppdrettsfri fjord var tilnærmet lik (Skog m. fl. 2003, HSI = 8,5 vs. 8,7). Dette er vesentlig lavere enn det man ofte finner hos sei som har spist mye pellets (HSI > 15) (Otterå m. fl. 2009), noe som kan tyde på at den undersøkte seien var «lite eller middels» somatisk påvirket av en diett bestående av laksefôr.

Bjørn m. fl. (2007) undersøkte kvalitet hos sei og torsk fanget i et oppdrettsintensivt område og i et kontrollområde uten oppdrett i løpet av våren og høsten 2006 (Tabell 4). Kvalitet ble evaluert ved å måle ulike morfometriske parametere og pH i muskel og blod, samt ved å bestemme filetindeksen (FI, Akse m. fl. 2006). Filetindeksen varierer fra 0 til 13, der høye verdier representerer redusert kvalitet. Fisken ble behandlet så optimalt som mulig etter fangst (umiddelbar bløgging og lagring på is i små enheter). Generelt var kvaliteten på både torsk og sei forholdsvis god. For torsk fanget i april var filetindeksen på kontrollfisken noe høyere (FI = 4,4 - dvs dårligere kvalitet) enn for fisk fanget under oppdrettsanlegg (F = 2,8), noe som kan skyldes at kontrollfisken var fanget med garn, mens torsk fra oppdrettsanlegg ble fanget levende med snøre (juksa). For høsttinningsamlingen var sei fra oppdrettsanlegg av marginalt bedre kvalitet enn kontrollfisken (Filetindeks FI = 2,8 vs. 1,1), mens det motsatte ble funnet for torsk (FI = 0,7 vs. 1,7). Leverindeksene for sei var lave og like (FI = 6,8 vs. 6,5), noe som trolig tyder på at den undersøkte seien ikke i vesentlig grad hadde spist pellets. Bjørn m. fl. (2007) konkluderte med at det ikke ble funnet vesentlige kvalitetsforskjeller hverken for torsk eller sei i Øksfjord i 2006.

Undersøkelsene fra Øksfjord i 2006 ble repetert høsten 2007 (Bjørn m. fl. 2009). Det ble samtidig også samlet inn fisk fra Hitra i Sør Trøndelag (torsk og sei) og fra Ryfylket (kun sei) (Bjørn m. fl. 2009, N = 15 i hver gruppe). På samme måte som for fisk fra Øksfjord i 2006 ble fangsten behandlet så optimalt som mulig. Det ble i tillegg til filetkvalitet også undersøkt om smak og kvalitet varierte mellom ulike grupper ved å bruke et profesjonelt smakspanel (Akse m. fl. 2006). Resultatene fra Øksfjord for 2007 var omtrent de samme som i 2006, med generelt god filetkvalitet både hos torsk og sei og ingen vesentlige forskjeller mellom fisk fra lakseanlegg og kontroll-lokaliteter. Kvaliteten på torsk samlet inn ved Hitra var også generelt god og det var ingen forskjeller i filetkvalitet (FI ~1,5) mellom gruppene. Filetkvaliteten hos sei fanget ved oppdrettsanlegg på Hitra var imidlertid klart redusert, men ikke dårlig, i forhold til kontrollsei (FI = 4 vs. 1,5). I Ryfylke ble tre grupper sei undersøkt i 2007; 1) fanget under oppdrettsanlegg, 2) 1-2 km unna anlegg i en fjord med mye oppdrett og 3) i et område som var mer enn 20 km unna nærmeste oppdrettsanlegg. Fisk fra lokalitet 1 og 3 ble fanget på juksa, mens fisk fra lokalitet 2 ble fanget med garn satt fra ettermiddag til neste morgen (ca 15 timer, noe som betyr at deler av denne fisken døde før bløgging). Gjennomsnittlig leverindeks varierte mellom de ulike fangststedene i Ryfylket; sei fra lokalitet 1 og 3 hadde mindre lever (HSI = hhv. 8,5 og 10,5) i forhold til størrelsen enn sei fra lokalitet 2 (HSI = 15). Leverindeksverdiene tyder på at fisk fanget på lokalitet 2 var betydelig fetere enn normalt, kanskje på grunn av inntak av laksepellets. Pellets ble imidlertid ikke funnet i mageinnholdet på disse fiskene, og det er derfor ikke sikkert om den høye leverindeksen skyldes inntak av laksefôr eller annen fet føde. Gjennomsnittlig filetindeks for sei fra lokalitet 1 og 3 var lav og tilnærmet lik (FI~1), mens filetkvaliteten for sei fanget på lokalitet 3 var dårlig (FI ~7), noe som også kan skyldes at fisken fra denne lokaliteten ble fanget på garn satt over natten. Det ble imidlertid ikke påvist vesentlige forskjeller i kvalitet mellom noen av gruppene, verken for torsk eller sei, i de sensoriske analysene som ble utført av smakspanelet.

Sæther m. fl. (2012) undersøkte sei og torsk fanget ved oppdrettsanlegg sammenlignet med kontrollfisk fanget i områder presumptivt upåvirket av oppdrett (Tabell 4). Dette var fisk

fanget med tanke på utnyttelse av villfisk ved oppdrettsanlegg, og fangsten foregikk dermed i umiddelbar nærhet til anlegg. Fisken som ble fanget ved oppdrettsanlegg ble fanget levende med enten teine eller juksa, mens fisken som ble fanget på kontroll-lokalitetene ble fanget på garn eller snurrevad noe som trolig innebar at deler av kontrollfisken døde før bløgging. Gruppestørrelsene i denne studien varierte mellom 10 og 15 fisk. Leverstørrelse i forhold til kroppsvekt for torsk fanget ved anlegg og på kontroll-lokaliteter var relativ lik (Tabell 4, HSI ~5 – 8), mens sei fanget ved lakseanlegg generelt hadde større lever enn sei fanget på kontroll-lokaliteter (Tabell 4, HSI: 3-14 vs. 6-8). Det var generelt ingen vesentlige forskjeller i filetindeks mellom de ulike prøveuttakene eller mellom garnfanget kontrollfisk og levendefanget fisk fra oppdrettsanlegg som indikerte at fisk fanget nært anlegg avvek betydelig fra kontrollfisken, med unntak av at det i november ble registrert laksefôr i magesekken på sei fanget ved anlegg og en litt avvikende lukt av fiskekjøttet. Filetindeksen for den undersøkte fisken varierte mellom 2 og 6, det vil si fra god til middels kvalitet. Det var ingen klare trender i variasjon i filetkvalitet i forhold til årstid. Det ble i sensoriske smakspaneltester ikke funnet store forskjeller mellom fisk fanget nært eller langt fra oppdrettsanlegg, men det var marginale forskjeller som tydet på at fisk fanget nær lakseanlegg var av bedre kvalitet enn fisk fanget langt unna anlegg.

I motsetning til de ovennevnte studiene undersøkte Otterå m. fl. (2009) om inntak av kommersielt fiskefôr påvirket konsumkvaliteten på sei ved å fôre fisk holdt i kar med enten lakse- og/eller torskfôr fra oktober i 2006 til juni 2007. Kvalitet ble sammenlignet for de ulike fôringsregimene i desember 2006, mars 2007 og i juni 2007. I tillegg ble villfanget sei sammenlignet med oppfôret sei i juni 2007. Fisken ble behandlet så optimalt som mulig etter avlaving og fram til kvalitetsanalysen. Både filetindeks (QIM, Otterå m. fl. 2009), tekstur, pH, farge, fettisyreinnhold og sensorikk ble målt. Med unntak av villfisken (Fanget på juksa, N = 21, HSI~7-8) var leverindeksen høy for uttaket i juni (HSI > 15), noe som indikerer at oppfôret fisk var betydelig fetere enn villfanget sei. Det ble i juni 2007 (mao. etter ca. 8 måneder) ikke funnet vesentlige forskjeller for noen av de målte parameterne som tydet på at sei fôret med fiskefôr var av betydelig dårligere kvalitet enn villfanget sei. Det ble konkludert med at sei fôret på kommersielt fiskefôr generelt var av god kvalitet. Det var også en tendens til at sei fôret med torskfôr var mer lik villfanget sei enn sei fôret med laksefôr.

Foreløpige resultater fra et forskningsprosjekt som ble igangsatt høsten 2012 er i tråd med resultatene fra publiserte og rapporterte studier (Uglem m. fl. upubliserte resultater). I dette studiet ble sei fanget under lakseanlegg og på kontroll-lokaliteter i Midt-Norge (Hitra og Hemnefjorden). Fisken ble fanget enten med juksa eller med garn i midten av september 2012 (satt på kvelden og trukket om morgenen, gruppestørrelser 28-30 fisk). Det ble lagt vekt på å bruke kommersiell fangstmetodikk og redskap. Fisk fanget ved anlegg hadde større lever (HSI~15) enn fisk fanget andre steder (HSI~5-8). Filetkvaliteten var generelt god for alle gruppene (FI gjennomsnitt < 2), men kvaliteten på sei var noe redusert for garnfanget fisk fra lakseanlegg i forhold til garnfanget kontrollfisk. Garnfanget fisk var generelt av noe dårligere filetkvalitet enn juksafanget fisk. Teksturmålinger for opptint loins lagret på is i to dager og deretter frosset i to måneder tyder videre på at fileter fra fisk fanget ved oppdrettsanlegg var bløtere enn for fisk fanget et stykke unna anlegg. Andelen av den undersøkte fisken med

pellets i magesekken var lav (~12 %), noe som trolig er relatert til at fisken ble fanget ved et lakseanlegg med nylig utsatt laksesmolt, dvs ved et anlegg med lavt fôrforbruk. Fisken ble på samme måte som for de andre publiserte studiene behandlet optimalt i og med at den ble bløgget umiddelbart etter fangst, blødd ut i rennende vann før sløyning og lagt på is i små enheter før kvalitetstesting 2 dager etter fangst. Foreløpige resultater fra biokjemiske analyser av muskel og lever indikerer også at fisk fanget ved oppdrettsanlegg over tid har en annen diett enn fisk fra kontroll-lokaliteter.



Tabell 4. Oppsummering av ulike studier vedrørende konsumkvalitet hos sei og torsk som er fanget nært lakseanlegg

Art	Måned, år	Fylke	Fisk fanget ved anlegg							Kontrollfisk							Referanse
			N	Lengde (cm)	Andel med pellets (%)	Redskap	K-faktor	Filet HSI indeks		N	Lengde (cm)	Andel med pellets (%)	Redskap	K-faktor	Filet HSI indeks		
Sei	Jul, 99	Nordland	30	37	46	Juksa	1,3	8,5	-	30	30	0	Juksa	1,3	8,7		Skog m. fl. 2003
Sei	Okt, 06	Finnmark	15	42	-	Juksa	1,1	6,5	1,1	15	74	-	Juksa	1,1	6,8	2,8	Bjørm m. fl. 2007
Sei	Oct, 07	Finnmark	15	-	35	Juksa	-	-	2	15	-	0	Juksa	-	-	2	Bjørm m. fl. 2009
Sei	Oct, 07	Sør-Trønd.	15	-	53	Juksa	-	-	4	15	-	0	Juksa	-	-	1,5	Bjørm m. fl. 2009
Sei	Oct, 07	Rogaland	15	55	53	Juksa	1,2	10,5	1	15	52	0	Juksa	1,1	8,5	1	Bjørm m. fl. 2009
Sei	Oct, 07	Rogaland								15	57	0	Garn	1,5	15,5	7	Bjørm m. fl. 2009
Sei	Nov, 10	Nordland	10	49	-	Teine	1,0	14,0	3	10	58	-	Snurrevad	1,0	8,2	4,6	Sæther m. fl. 2012
Sei	Feb, 11	Rogaland	15	47	-	Teine	0,8	3,0	4,3	15	57	-	Garn	0,9	5,8	4,5	Sæther m. fl. 2012
Sei	Jun, 11	Nordland	10	59	-	Teine	1,1	12,5	2,3	10	78	-	Garn	0,9	-	3,8	Sæther m. fl. 2012
Sei	Sep, 11	Nordland	10	60	-	Teine	1,1	10,5	3,9	10	51	-	Garn	1,2	-	6,2	Sæther m. fl. 2012
Sei	Sep, 12	Sør-Trønd.	29	70	10	Juksa	1,0	13,7	1,5	30	69	0	Juksa	0,8	4,1	1,2	Uglem m. fl. Upubl.
Sei	Sep, 12	Sør-Trønd.	26	60	12	Garn	1,1	14,9	2,5	30	66	0	Garn	0,9	7,7	1,9	Uglem m. fl. Upubl.
Torsk	Apr, 06	Finnmark	15	59	-	Teine	0,9	4,4	4,4	15	75	0	Garn	1,0	11,0	2,8	Bjørm m. fl. 2007
Torsk	Okt, 06	Finnmark	15	74	-	Juksa	1,0	7,4	1,7	15	61	0	Juksa	1,0	3,3	0,7	Bjørm m. fl. 2007
Torsk	Oct, 07	Finnmark	15	-	-	Juksa	-	-	1	15	-	0	Juksa	-	-	1	Bjørm m. fl. 2009
Torsk	Oct, 07	Sør-Trønd.	15	-	48	Juksa	-	-	1	15	-	0	Garn	-	-	1	Bjørm m. fl. 2009
Torsk	Nov, 10	Nordland	10	65	-	Teine	1,0	6,1	1,4	10	69	-	Snurrevad	1,1	7,8	1,3	Sæther m. fl. 2012
Torsk	Apr, 11	Nordland	10	55	-	Teine	-	6,1	2,1	10	65	-	Garn	0,9	5,0	3	Sæther m. fl. 2012
Torsk	Jun, 11	Nordland	10	75	-	Teine	1,0	7,8	2,8	10	79	-	Garn	1,1	-	2,9	Sæther m. fl. 2012
Torsk	Sep, 11	Nordland	10	60	-	Teine		5,5	5,1	10	58	-	Garn	-	-	3	Sæther m. fl. 2012

Den eksisterende forskningsbaserte kunnskapen vedrørende konsumkvalitet tyder dermed på at kvaliteten hos sei kan reduseres som følge av inntak av laksepellets, men at dette nødvendigvis ikke trenger å være et generelt eller svært omfattende problem dersom fisken behandles optimalt etter fangst. Det er imidlertid usikkert om kjøttkvaliteten hos torsk kan påvirkes. Resultatene indikerer videre at fangstmetode trolig er viktig for kvaliteten hos sei (målt som bløthet eller spalting av kjøttet) fordi juksafanget fisk er av bedre kvalitet enn garnfanget fisk. Siden oppdrettspåvirket og kontrollfisk i flere av de eksisterende studiene er fanget med ulik metodikk (henholdsvis juksa og garn) kan dette ha ført til at forskjeller i kvalitet har blitt maskert på grunn av redskapsrelatert kvalitetsvariasjon. En annen faktor som kan forklare manglende eller liten variasjon i kvalitet mellom påvirket og kontrollfisk i flere studier er at den relative leverstørrelsen hos antatt påvirket fisk er betydelig mindre enn det som er vanlig hos sei som har spist mye laksefôr over tid (Otterå m. fl. 2012). Det er også grunn til å tro at behandlingen av fangsten har vært mer standardisert og bedre i de vitenskapelige studiene enn det som er vanlig i ordinært kystfiske, siden mengde fisk som er fanget og analysert er mindre enn det som prosesseres per tid i kommersielt fiske. Dette kan ha resultert i at fisken bløgges og kjøles raskere, og at den lagres i mindre enheter over kortere perioder før kvaliteten måles enn det som er vanlig i kommersielt fiske. Det er derfor fortsatt behov for å undersøke kvalitet, kanskje spesielt hos sei, i samarbeid med lokale fiskere der fangst og prosessering forgår på samme måte som i kommersielt fiske (slike undersøkelser er igangsatt høsten 2012, se ovenfor, Uglem upubliserte resultater). Det faktum at den erfaringsbaserte kunnskapen indikerer at kvalitetseffekter hos sei på grunn av tiltrekning til oppdrettsanlegg er et periodevis problem for kyst og fjordfiskere som fisker i fjorder med mye

oppdrett innebærer at det er behov for mer kunnskap om, når og i hvilken grad kvaliteten påvirkes under kommersielle forhold. Denne typen kunnskap er essensiell for å foreslå eventuelle avbøtende og/eller kvalitetsbedrende tiltak.

*Fiskere og fiskemottaksanlegg har opplevd og opplever stadig at tiltrukket fisk, fortrinnsvis sei, som har spist mye spillfôr kan være av så dårlig kvalitet at den ikke er omsettbart. Forskning har så langt ikke greid å dokumentere under hvilke forhold dette kan skje, og det er derfor behov for mer kunnskap om kvalitetsregulerende faktorer hos påvirket fisk.*

### 2.2.3. FREMMEDSTOFFER OG KVALITET

Oppdrettsanlegg kan i hovedsak tilføre miljøet skadelige stoffer via fiskefôr, antigroebehandling eller medikamenter. Det er ikke dokumentert at miljøgifter tilført gjennom fiskefôr resulterer i skadelige mengder av miljøgifter i villfisk fanget ved anlegg, selv om mengde av ulike stoffer varierer mellom fisk fanget ved oppdrettsanlegg og andre steder (deBruyn m. fl. 2006; Bustnes m. fl. 2010;2011; 2012). Fremmedstoffer som halogenererte organiske forbindelser, samt tungmetaller, i fôr, laks og fekalier er undersøkt i egne overvåkingsprogram. PCB, furaner, dioksin, klorerte pesticider og bromerte flammehemmere (Samuelsen & Grøsvik 2013) ligger langt under grenseverdier der dette er satt. I sammenligninger med sei og torsk assosiert med oppdrettsanlegg og fisk fanget på nærliggende kontrolllokalteter (deBruyn m. fl. 2006; Bustnes m. fl. 2010;2011; 2012) ble det heller ikke funnet økte verdier av de analyserte organiske miljøgiftene for sei, mens det ble funnet noe økte verdier av enkelte stoffer, slik som DDT fra 68 til 143 ng/g hos torsk (Bustnes m. fl. 2010). Verdiene er imidlertid svært lave og ikke i nærheten av det som kan antas å være helseskadelig ved normalt inntak av fisk. Det er videre vist at sei kan akkumulere antibiotika som gis via fôret (Samuelsen m. fl. 1992), men siden det per i dag brukes svært lite antibiotika i norsk lakseoppdrett representerer dette derfor trolig ingen vesentlig miljøpåvirkningsfaktor. Det er videre også påvist lusemiddel (teflu- og diflubenzuron) i vann, skjell, krepsdyr og sei i nærheten av lakseanlegg, men ikke i torsk (Langford m. fl. 2011, Samuelsen m. fl. 2013). Disse stoffene er svært toksiske for krepsdyr. Verdiene som ble påvist i vann, skjell, krepsdyr og fisk antas å være høye nok til at de kan være skadelige for organismer som gjennomgår skallskifte i løpet av livssyklusen, men mest trolig ikke for mennesker (Langford m. fl. 2011; Samuelsen m. fl. 2013). Det er videre dokumentert en betydelig effekt på hummeryngel (dødelighet og senskader) som ble fôret med en dose legemiddel tilsvarende en diett på medisinholdige (teflubenzuron) pellets og fekalier i en uke (Samuelsen m. fl. 2013). Det er også vist at reker tar opp næringsstoffer fra laksespellets i nærheten av oppdrettsanlegg, enten via fôr, faeces eller andre organismer (Åserud Olsen m. fl. 2012), noe som støtter antagelsen om at det er et potensiale for at lusemidler som inneholder kitinhemmere kan påvirke lokale krepsdyrbestander. Det er knyttet usikkerhet til hvorvidt bruk av kobberholdig notimpregnering kan føre til negative økologiske effekter i området rundt oppdrettsanlegg

(Taranger m. fl. 2012). Kobber er giftig for en rekke dyregrupper inkludert alger, skalldyr og krepsdyr, men bindes raskt i sedimentet under oppdrettsanlegg siden dette som oftest inneholder mye organisk karbon og sulfider (Burrige m. fl. 2010). Det er imidlertid påvist høye nivå av kobber under oppdrettsanlegg og toksiske effekter er dokumentert, selv om omfanget er omdiskutert. Det i denne sammenhengen verdt å nevne at risikoen for negative økologiske effekter som følge av bruk av kobberholdig antigroemaling er vurdert som lav, med unntak av for spesielt skjermede lokaliteter slik som havner og marinaer (Brooks & Waldock 2009).

*Det finnes oss bekjent ingen vitenskapelig dokumentasjon som indikerer at det kan være helseskadelig å spise villfisk som oppholder seg ved oppdrettsanlegg.*

#### *2.2.4. TILTREKNING AV FISK – EFFEKTER FOR OPPDRETTSNÆRINGEN*

##### *Villfisk spiser spillfôr og kan redusere mulige effekter av fôrtap*

Tiltrukket villfisk kan redusere mulige negative effekter av spillfôr, kanskje spesielt i forhold til påvirkning på bunnforhold rundt anlegg (e.g. Brown m. fl. 1987; Ritz 1989; Hansen m. fl. 1990, 1991; Holmer & Kristiansen 1992; 1996; Kutti m. fl. 2007a, b, 2008, samt referanser ovenfor). I enkelte tilfeller kan villfisk antageligvis redusere mengden pellets som når bunnen betydelig. Dempster m. fl (2011) estimerte at normalt forekommende ansamlinger av sei ved oppdrettsanlegg konsumerte spillfôr tilsvarende 1,4 % av det daglige fôrforbruket. Hvor stor andel av fôrtapet dette egentlig utgjør er ikke kjent siden data på fôrtap under kommersielle forhold ikke er publisert. Siden fôrtapet antas å være i størrelsesorden 3-5 % av det totale fôrforbruket indikerer imidlertid disse resultatene at villfisk kanskje kan «fjerne» så mye som en halvparten av fôrtapet før det når bunnen. Lignende resultater er også funnet for villfisk som tiltrekkes oppdrettsanlegg i Middelhavet (Vita m. fl. 2004; Sanchez-Jerez m. fl. 2011). Eksisterende modeller for estimering av i hvilken grad oppdrett kan påvirke næringstilførselen til havet (Kap. 2.1) tar ikke hensyn til at villfisk «fjerner» spillfôr før det når bunnen, noe som trolig innebærer at sedimentering av kunstig fiskefôr blir overestimert.

##### *Kan marin villfisk spre smitte?*

Oppdrett av fisk i åpne merder muliggjør spredning av patogener fra oppdrettsfisk til villfisk og visa versa (Johansen m. fl. 2011; Taranger m. fl. 2012). Siden tetthet og mengde av fisk i merdene er svært mye større per volum enn det som er naturlig for de ulike oppdrettsartene kan dette medføre at mengden patogener som produseres øker, noe som implisitt kan innebære økt patogen virulens og høyere infeksjonstrykk for villfisk (Krkosek 2010, Pulkkinen m. fl. 2010). Spredning av patogener kan skje enten via havstrømmer, bruk av samme utstyr ved flere anlegg, rømning av oppdrettsfisk og kanskje også gjennom at villfisk som tiltrekkes oppdrettsanleggene blir bærere av patogener (Johansen m. fl. 2011 og referanser i denne). Villfisken vil dermed kunne være vektorer for spredning av sykdommer fra oppdrettsfisk til ville bestander eller til andre oppdrettsanlegg forutsatt at:

- villfisk oppholder seg nært nok og lenge nok ved anlegg til at patogener kan overføres fra oppdrettsfisken til villfisken
- villfisken vandrer hyppig og raskt nok mellom anleggene til å kunne spre patogener mellom oppdrettsanleggsvillfisk og oppdrettsfisk må kunne være bærere av de samme patogene

Det er vist at villfisk kan oppholde seg svært nær oppdrettsanlegg over forholdsvis lange perioder, og at de vandrer raskt og ofte mellom flere anlegg, samt til andre nærliggende lokaliteter av spesiell interesse slik som for eksempel kjente gyteområder eller tradisjonelle fiskefelt (Uglem m. fl. 2008, 2009; Dempster m. fl. 2010; Otterå og Skilbrei 2012; Sanchez m. fl. 2011). I Norge er dette vist for både torsk og sei (Uglem m. fl. 2008, 2009; Otterå og Skilbrei 2012) og i Middelhavet for flere multearter (*Liza aurata* og *Chelon labrosus*, Arechavala-Lopez m. fl. 2010) og for blåfisk (*Pomatomus saltatrix*, Arechavala-Lopez m. fl. upubliserte resultater). Vandringer av fisk som tiltrekkes oppdrettsanlegg er oss bekjent ikke undersøkt for andre villfiskarter. De to første forutsetningene for at tiltrukket villfisk potensielt kan spre patogener til villfisk og mellom anlegg er dermed oppfylt.

Det er imidlertid uklart om og i hvilken grad patogener faktisk kan overføres fra oppdrettsfisk til villfisk, men de få vitenskapelige studiene som finnes om dette antyder at smitteoverføring fra oppdrettsfisk til villfisk kan skje, i alle fall for enkelte agens (Heuch m. fl. 2011; Johansen m. fl. 2011; Taranger m. fl. 2012). Sykdommer som forekommer hos oppdrettsfisk må i første omgang ha kommet fra villfisk, og det er derfor naturlig å anta at gjensidig smitte kan finne sted. Sannsynligheten for smitte fra oppdrettsfisk til villfisk er imidlertid høyst trolig også relatert til taksonomi og det er grunn til å tro at det er størst sannsynlighet for overføring av sykdommer innen samme art eller til nært beslektede arter. Dette betyr at risikoen for smitte fra oppdrettslaks til ville laksefiskebestander kan være større enn for smitte fra lakseoppdrett til andre marine arter, for eksempel torskfisk. Risikoen for mulig smitte fra torskoppdrett til ville marine fisker er derfor trolig større enn for smitte fra lakseoppdrett. En sterk nedgang i oppdrett av torsk de siste årene innebærer at den reelle risikoen for smitte fra torskoppdrett til vill marin fisk per 2013 er svært liten. Nyere kunnskapsoppsummeringer vedrørende denne problemstillingen konkluderer med at den eksisterende kunnskapen er svært mangelfull og at det derfor er vanskelig å gjøre en holdbar risikovurdering av påvirkning av oppdrett på sykdomsstatus hos villfisk. (Johansen m. fl. 2011, Taranger m. fl. 2012).

*Rovfisk som tiltrekkes anlegg spiser mindre fisk, inkludert rømt oppdrettsfisk*  
Mindre fisk er ofte en del av dietten til større fisk som tiltrekkes oppdrettsanlegg (e.g. Dempster m. fl. 2011; Sanchez-Jerez m. fl. 2011) og det er grunn til å anta at rovfisk samler seg ved oppdrettsanlegg på grunn av at mindre fisk tiltrekkes anleggene for spise spillfôr. Dette kan også bety at mindre rømt oppdrettsfisk vil utgjøre et bytte for større rovfisk. Denne antagelsen støttes av resultater fra en studie der spredning av rømt torskkeyngel ble undersøkt ved å sette ut eksternt merkede torskkeyngel ved et torskianlegg (Serra Linares m. fl. 2013). Det ble i dette studiet satt ut tre grupper fisk av ulik størrelse. Om lag 10 % av den minste

fisken (Gruppe 1: totallengde 25 cm) ble funnet i maveinnholdet på et forholdsvis lite uttak av stor sei og torsk (N < 400) fanget under merdene. Siden det ble observert store mengder villfisk ved det aktuelle anlegget var trolig overlevelsen for den minste størrelsesgruppen svært lav på grunn av predasjon. Antallet utsatt torskeyngel som ble gjenfunnet i maveinnholdet hos sei og torsk var imidlertid mye lavere for de to andre gruppene (Gruppe 2: lengde: 29 cm, gjenfunnet i maveinnhold: 0,6 %, Gruppe 3: 36 cm og 0 %). Disse resultatene tyder på at villfisk som tiltrekkes oppdrettsanlegg til en viss grad kan redusere mulige effekter av rømning. I hvilket omfang dette skjer under storskala kommersielle forhold er vanskelig å estimere på basis av eksisterende kunnskap.

#### *Kan rovfisk som tiltrekkes anlegg øke rømningsrisikoen?*

Rovfisk kan også tiltrekkes oppdrettsanlegg på grunn av at oppdrettsfisken oppfattes som byttedyr. Dette er godt dokumentert fra Middelhavet der blåfisk (*Pomatomus salatrix*) opptrer i høye tettheter rundt oppdrettsanlegg for havabbor og dorade (Sanchez-Jerez m. fl. 2008). Blåfisk er en forholdsvis stor rovfisk som har store og svært skarpe tenner, og som faktisk er i stand til å bite hull på oppdrettsnota fra utsiden for å få tak i oppdrettsfisken, noe som fører til rømning. Lignende problemer med tiltrekning av rovfisk og skader på not er ikke dokumentert i Norge, men det er spekulert i at pigghå (*Squalus acanthias*) tiltrekkes torskeanlegg på grunn av dødfisk, og at den er i stand til å bite hull i nota for å få tak i dødfisken (Moe m. fl. 2005). Det er også godt vist at oppdrettstorsk er i stand til å bite hull i nota fra innsiden (Moe m. fl. 2007; Hansen m. fl. 2009; Jensen m. fl. 2010; Damsgård m. fl. 2012), og det kan ikke utelukkes at villtorsk som tiltrekkes oppdrettsanlegg kan forårsake rømning gjennom at de biter hull i nota fra utsiden. Det er oss bekjent imidlertid ikke dokumentert at hverken pigghå eller vill torsk som tiltrekkes oppdrettsanlegg forårsaker rømning ved å bite hull i notveggen.

*Tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg kan være positivt siden villfisk trolig spiser mye av fôrtapet noe som vil bidra til å redusere bunnpåvirkningen. Det kan imidlertid ikke utelukkes at villfisk som aggregeres ved oppdrettsanlegg kan bidra til spredning av patogener mellom anlegg og til ville bestander. Det er videre vist at villfisk som samles ved anleggene kan spise små rømt oppdrettsfisk, men det er også spekulert i at rovfisk kan forårsake rømning ved å bite hull i nøtene*

#### **2.2.5. TILTREKNING AV VILLFISK TIL OPPDRETTSANLEGG OG TURISTNÆRINGEN.**

Turisme er en viktig næring for lokalsamfunnene langs norskekysten, og varierer fra norske hyttefolk til utenlandske fisketurister. Sjøfisketurisme er en voksende aktivitet som allerede i dag skaper arbeidsplasser og store verdier (Vølstad m. fl. 2010). Borch m. fl. (2011) identifiserte over 430 bedrifter innen sjøfisketurismenæringen og estimerte at den assosierte omsetningen på alle varer og tjenester var 842 millioner kroner i 2008. Oss bekjent finnes det per 2012 ingen publiserte studier angående interaksjoner mellom havbruk og sjøfisketurisme, men det ble i 2011 satt i gang en studie der blant annet dette vil undersøkes (CoastTour, Pers. medd. T. Borch, Nofima). Resultater fra Skottland, som har en akvakultur næring som ligner

den i Norge, tyder på at akvakultur generelt ikke påvirker turistnæringen (Nimmo m. fl. 2009; 2011), men forholdet mellom sjøfisketurisme og påvirkning fra oppdrett på ville marine organismer ble ikke spesifikt undersøkt.

*Siden mye villfisk tiltrekkes av oppdrettsanlegg kan det ikke utelukkes at villfiskressurser blir mindre tilgjengelig for sjøfisketurister, siden det ikke er tillatt å fiske nært oppdrettsanlegg.*

### 2.3.EFFEKTER AV ORGANISK AVFALL FRA MARINT OPPRETT - KONKLUSJON

Organisk avfall fra fiskeoppdrettsanlegg kan påvirke økosystemet og utøvelsen av andre næringsvirksomheter i kystsonen på mange måter. Selv om oppdrettsnæringen står for store utslippene av næringssalter og organisk stoff til norskekysten, er disse utslippene relativt sett små i forhold til naturlig tilførsel av slike stoffer og det er derfor ingen stor risiko for vesentlig global og regional overgjødning av frie vannmasser, muligens med unntak av lokale effekter på steder med svært lav vannutskifting og mye oppdrett. Sannsynligheten for varig regional bunnpåvirkning på grunn av partikulært avfall i åpne kystområder og store fjorder med dyp terskel vurderes også som meget liten, men midlertidige lokale effekter i områder med mye oppdrett kan likevel ikke utelukkes. Organisk avfall kan også føre til at vill marin fisk tiltrekkes oppdrettsanlegg fordi avfallet er en ressurs for villfisken, enten direkte eller indirekte siden vill rovfisk også tiltrekkes fordi mindre byttefisk spiser spillfôr. Tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg kan ha ulike effekter for forskjellige arter og i forhold til hvilken interessegruppe som eventuelt berøres. Det er mulig at tiltrekning til oppdrettsanlegg er positivt for enkelte arter og livsstadier siden energitilgangen øker, samtidig som at dette er negativt for lokale fiskerier og turisme siden tilgjengelighet og kvalitet på tiltrukket fisk kan påvirkes. På samme tid kan tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg både være positivt og negativt for oppdrettsnæringen, fordi villfisk kan fungere som biofiltre siden de spiser spillfôr eller fordi de kan ha en rolle som vektorer for smitte. Interaksjonen mellom havbruk og marine arter er kompleks fordi mange arter, flere trofiske nivå og ulike interessentgrupper berøres over et stort geografisk område. Det er derfor åpenbart behov for ny kunnskap både i en generell sammenheng og på et lokalt nivå, samt løpende risikovurderinger basert på eksisterende kunnskap.

Selv om kunnskapsbehovet generelt er stort er det enkelte problemstillinger som peker seg ut som mer aktuelle enn andre. Det er for eksempel behov for mer kunnskap vedrørende tiltrekning av villfisk gjennom sesongen, inkludert bedre mål på mengde spillfôr som konsumeres av tiltrukket fisk. Det er videre behov for å måle fôrtap under en realistisk og kommersiell oppdrettssituasjon, kompensert for mengde fôr som konsumeres av villfisk. Dette vil gjøre det enklere å evaluere om villfisk kan brukes som indikatorer på fôrtap, og i hvilken grad villfisken bidrar til å redusere miljøbelastningen som følge av organisk avfall. Reelle estimat på fôrtap vil også være verdifullt med tanke på å optimalisere oppdrettsmetodikken. Det er videre behov for kunnskap om og i hvilken grad spillfôr reduserer kvaliteten på villfisk, og da kanskje spesielt sei. Det faktum at konklusjonene på

bakgrunn av erfaringsbasert og vitenskapelig kunnskap til dels motstrider hverandre tyder på at det er behov for å undersøke *omfanget* av eventuelle problemer grundigere. Det vil også være viktig å identifisere et «*worst case*» *scenario* – det vil si hva som faktisk skal til for at kvaliteten på tiltrukket fisk blir dårlig. Dette er nødvendig siden de vitenskapelige studiene som er utført så langt ikke har klart å reprodusere en fangstsituasjon der kvaliteten på fisken er så dårlig som det forholdsvis unisont hevdes fra fiskerisiden. Slik kunnskap er nødvendig for å foreslå avbøtende tiltak. Andre problemstillinger som bør fokuseres på er hvor mye fisk som tiltrekkes anlegg i forhold til tid på året, hvilken romlig og temporær skala tiltrekning av villfisk til anlegg eventuelt reduserer ressurstilgjengeligheten for lokale fiskerier og sjøfisketurisme, samt om det finnes muligheter for samarbeid mellom de ulike interessentgruppene. Det bør også fokuseres på eventuelle effekter av miljøgifter og mulig smittespredning via villfiskbevegelser. Potensielle gjødslingeffekter og påvirkning fra partikulært avfall på bunnforhold blir undersøkt i eksisterende og langsiktige pågående prosjekter.

*Siden problembildet angående effekter av organisk avfall fra marint opprett er komplekst er det urealistisk å tro at det på kort sikt vil være mulig å innhente tilstrekkelig omfattende og detaljert kunnskap for helhetlige og spesifikke risikovurderinger på lokalt nivå. Dette betyr at det i første rekke er behov for ny generell kunnskap som kan brukes til å identifisere mulige kritiske problemstillinger, og videre til å forslå eventuelle avbøtende tiltak. Denne typen kunnskap vil også være retningsgivende for forvaltende myndigheter i forhold til å fastsette akseptable grenseverdier.*

### 3. EFFEKTER PÅ REPRODUKSJON OG ATFERD HOS VILLFISK

#### 3.1. VEKST, ALDER VED KJØNNSMODNING OG FEKUNDITET

Mange marine kaldtvannsarter gyter om våren eller tidlig sommer slik at yngelen har god tilgang til mat den første tiden. Som en konsekvensforegår det meste av gonadeutviklingen i løpet av vinteren, i en periode da matinntaket er redusert både som følge av lav sjøtemperatur og redusert tilgang til byttedyr. Opplagsnæring er derfor viktig for utvikling av mange nok og store nok egg (Jobling 1995). Forsøk på villfanget torsk med fôring i overskudd og god tilvekst viser at fisken kjønnsmodner tidligere enn i naturen (Godø og Moksness 1987), og økt vekst fører dermed til tidlig kjønnsmodning hos torsk. Tilgang på spillfôr fra oppdrettsanlegg kan påvirke vekst, energideponering og alder ved kjønnsmodning hos villfisk (Woodhead 1960). Økt tilgang på høykvalitetsenergi i form av fôrspill vil normalt medføre at fisken vil vokse bedre, og da spesielt om denne matkilden er tilgjengelig i en del av året hvor det normalt er lite byttedyr tilgjengelig (vinteren). Torsk vokser best med høyt proteininnhold i fôret, mens relativ leverstørrelse øker med minkende forhold protein:fett (Jobling, 1988; Rosenlund m. fl. 2004; Karlsen m. fl. 2006). I liten hyse fôret med fra 14 til 22 % fett i dietten hadde fett ikke effekt på vekst, men økende fettinnhold økte leverstørrelsen (Nanton m. fl. 2001). Sei fôret med torskfôr vokste noe bedre enn sei fôret med laksefôr, mens leverstørrelsen var større hos fisk fôret med laksefôr (Otterå m. fl. 2009). Det er også vist en økende vekst hos sei når proteininnholdet (som % av tørrstoff) økte fra 15 til 58 %, og fettinnholdet sank fra 11 til 46 % i ett 8 ukers fôringsforsøk (Rosenlund & Lied 1986). Det ble i tillegg funnet at leverindeksen økte når forholdet protein:fett i dietten sank. Merket sei gjenfanget gjennom ett år ved Austevoll og som trolig hadde stått deler av tiden ved anlegg, var større ved alder enn umerket sei (Bjordal & Skar, 1992). Også under anlegg med fôr med lavere fettinnhold (torsk, delvis kveite) vil trolig vekst og energilager påvirkes, men det tar muligens lengre tid å bygge opp en stor lever, mens sammensettingen av proteiner er mer gunstig for vekst for vill torskfisk. Det er ikke gjort forsøk som entydig kan avklare om fisk som tiltrekkes anlegg faktisk vokser bedre enn normalt, men det som finnes av data indikerer at vekst og energilagre øker.

En antar at initieringen av kjønnsmodningen er relatert til energireserver, spesielt fett (Rowe & Thorpe, 1990; Rowe m. fl. 1991; Taranger m. fl. 2010). Hos flergangsgytende fisk (torskfisk, flatfisk) vil trolig fisk kjønnsmodne dersom sannsynligheten for å overleve til neste gytesesong er rimelig høy selv om fisken gyter inneværende sesong. Implisitt i en slik modell er en avveining ("trade off") mellom reproduksjon og vekst, slik at det er en ulik fordeling av energi hos modnende og ikke modnende individer (Stearns, 1992). Dette betyr at fisk i god kondisjon «har råd» til å gyte både innværende og neste sesong. Forsøk på oppdrettsfisk (spesielt laksefisk) har vist at det er spesielle kritiske perioder (vinduer) hvor effekten av redusert energitilgang har større effekt på alder ved kjønnsmodning (Thorpe, 1986, 1994). Hos laksefisk er vinduene om våren (Simpson, 1992), mens det hos torsk antagelig er flere vindu (Kjesbu m. fl. 1991, 2010; Taranger m. fl. 2010). Hos både torsk og hyse er det observert at fisk kan hoppe over en gyting, og dette har en sammenheng med



energilagre (Rideout m. fl. 2006). Mattilgang månedene før gyting, etter at fisken har «bestemt seg», påvirker ikke alder ved gyting (Karlsen m. fl. 1995). En observerer da også at fisk som vokser godt og som har høyt energiinntak ofte kjønnsmodner ved en yngre alder (Woodhead, 1960; Bagenal, 1969; Luquet & Watanabe, 1986).

God mattilgang kan også potensielt påvirke fiskens fekunditet (antall egg). Fekunditet er styrt av fiskens størrelse (Woodhead, 1960; Hodder, 1963; Millar m. fl. 2011) og energilager (Marshall et al. 1999; Marteinsdottir & Begg, 2002). Begge deler er påvirket av ernæring (Kjesbu m. fl. 1991, 1998; Karlsen m. fl. 1995, Borgevik m. fl. 2011). I tillegg ser det ut til at fisk i god kondisjon har færre egg som dør før gyting (atresi), og derfor faktisk gyter flere egg (Thorsen m. fl. 2006).

*Teoretisk sett kan dermed økt mattilgang for sei eller torsk ved at de beiter på fôrspill fra oppdrettsanlegg gi bedre vekst og kondisjon og dermed tidligere kjønnsmodning, samt høyere fekunditet. Endring av kjønnsmodnings-tidspunkt kan også tenkes å påvirke vandringsmønster knyttet opp mot gyting, men det finnes oss bekjent ikke konkret kunnskap som indikerer at dette faktisk skjer.*

### 3.2.EFFEKTER PÅ GAMET VIABILITET

#### *Fett og fettsyrer*

Som vist tidligere tiltrekkes en rekke arter marin fisk til oppdrettsanlegg. Fisken kan stå rundt anleggene lenge (Otterå & Skilbrei, 2011), og en del dietten vil bestå av spillfôr. Foreløpig finnes det begrenset informasjon om hvor stor andel spillfôr utgjør av dietten til ulike ville arter. Dietten til sei og torsk fanget nær oppdrettsanlegg om sommeren utgjorde henholdsvis 71 og 25 % (Dempster m. fl. 2011), hvor 44 % av seien hadde spist spillfôr og 20 % av torsken. Laksefôr har helt andre egenskaper enn villfiskens naturlige diett, i og med at tørrstoffinnholdet og energitettheten er betydelig høyere, og at det er generelt rikt på hovednæringsstoffer. Siden fôret normalt er laget for å fremme optimal vekst for laksefisk for gitte fiskestørrelser, trenger behovet hverken å samsvare med en optimal diett for vekst for andre arter, eller være tilpasset en fisk som utvikler gonader. Noen næringsstoffer, som essensielle fettsyrer og antioksidanter har vist seg spesielt viktige for stamfisk (Izquerido m. fl. 2010; Pickova m. fl. 1997; Salze m. fl. 2005).

Foreldrefiskens ernæring påvirker avkommets kvalitet (Woodhead 1960; Luquet & Watanabe, 1986). Siden fiskefôret er innblandet til dels betydelig mengder alternative råstoffer, kan beiting på spillfôr medføre endringer i fiskens sammensetting som potensielt kan overføres til avkommet. Effekten en diett kan ha på foreldrefisken og kvaliteten på avkommet må ses i sammenheng med reproduksjonsbiologien til arten. Størparten av næringsstoffene flyttes fra mordyrets energilagretil eggemnene ganske sent i utviklingen (vitellogenese). Denne foregår hos torskefisk fra omtrent medio september og fortsetter under gytingen da disse artene er porsjonsgytere. Hos torsk legges opptil 1/3 av næringsstoffene inn i sluttmodningen (Thorsen

m. fl. 2006). Siden mange arter mister appetitten i forkant av gytingen (Woodhead 1960; Skjæraasen m. fl. 2004), må energiforbruket under oppbyggingen av gonadene hentes fra lagre. Torskefisk lagrer overskuddsenergi i leveren, og under gonadebygging mobiliseres reserver (spesielt lipider) i denne, mens store deler av proteinbehovet hentes fra muskel (Black & Love 1986; Kjesbu m. fl. 1991). Siden endringer i sammensettingen av fettsyrer i en fisk oftest er relatert til en utvannings- og ikke til en utskiftingseffekt (Jobling 2004), vil effekten av endringer i en diett avhenge både av andel av dietten som utgjøres av spillfôr, varighet av spillfôr innslaget og dets sammensetting, i tillegg til at påvirkningen avhenger av artens biologi, når i forhold til vitellogenese dette skjer, og tiden det tar å endre sammensettingen av gametene. Arter med kort vitellogenese trenger bare noen uker for å endre eggsammensettingen (Fernades-Palacios m. fl. 1995), mens for andre arter med mye lengre vitellogenese, slik som torsk og hyse, må stamfisk fôres måneder for å oppnå effekt.

Fettsyresammensettingen i muskel til sei fanget ved oppdrettsanlegg er sammenlignet med sammensettingen hos sei fra kontrollområder (Skog m. fl. 2003; Fernandez-Jover m.fl. 2011). Det var forskjeller i flere fettsyrer (16:0, 18:3n-3, 8:2n-6) i undersøkelsene, og forholdet n-3/n-6 økte med økende avstand fra anlegget, fra 11,6 til 14,9, mens det var små og ikke signifikante forskjeller mellom gruppene i de essensielle fettsyrene ARA (1,4-1,6 %), DHA (24,2-23,9 %) og EPA (12,2-12,1%) for hhv. kontrollfisk og sei fanget nær anlegg. Forholdene EPA/DHA varierte mellom 1,93 og 1,98 %, mens ARA/EPA varierte mellom 0,05 og 0,13 %. Fernandez-Jover m. fl. (2011) fant tilsvarende ikke signifikante forskjeller i ARA i muskel for sei fanget nær anlegg (2,8-3,8 %) og sei fanget på kontrollokaltet (3,3-4,5 %), selv om ARA konsekvent var noe lavere for sei fanget ved anlegget. EPA var ikke ulik (14,3-15,4 %), mens DHA (37,7-42,7 %) viste samme mønster som ARA. Forholdet n-3/n-6 varierte mellom 8,1 og 11,4. og var lavere for sei fanget ved anlegget, EPA/DHA varierte mellom 2,52 og 2,98, og var ikke affektert, mens ARA/EPA varierte mellom 0,19 og 0,31. Begge forholdene var noe lavere for sei ved anlegg. I forsøk hvor sei ble fôret i 8 måneder på laks eller torskefôr, og sammenlignet med villfisk, var ARA innholdet høyere i lakse- enn torskefôrgruppen (1,4-1,8 %), men villfisk lå mellom disse. For EPA (14,2-15,3 %) var det motsatt, fremdeles med villfisk i mellom. DHA (27,0-30,1 %) var lik. Forholdene n-3/n-6 var 5,3-10,4, lavest i laksegruppen. Det var små forskjeller i DHA/EPA (1,8-2,0) og ARA/EPA (0,09-0,12) forholdene. Marin villfisk som spiser mye pellets ment for umoden laks vil derfor potensielt kunne produsere egg med lavere eller ubalansert innhold av spesifikke næringsstoff som har betydning for avkommenes kvalitet og overlevelse, men det foreligger foreløpig ikke data på effekten på gonadenes fettsyresammensetting av at villfisk spiser laksefôr.

Både totalt innhold og sammensetting av fettsyrer påvirker kvalitet til avkommet (Watanabe m. fl. 1984; Izquerido m. fl. 2001; Bell & Sargent, 2003). Dårlig befruktning, egg- og larve kvalitet kan relateres direkte til ernæring (Sargent m. fl. 2002). Særlig anses de essensielle fettsyrene ARA (arakidonsyre, 20:4n-6), EPA (eikosapentaensyre, 20:5n-3) og DHA (dokosaheksaensyre, 22:6n-3) som viktige siden de kan påvirke fekunditet, eggkvalitet og klekking, samt føre til deformasjoner til yngel i marint oppdrett (Izquerido m. fl. 2001; Sargent m. fl. 1999; Tocher 2010). Også overskudd eller ubalanse i sammensettingen av dietten kan ha negativ effekt for reproduksjonen og avkommets viabilitet (Izquierdo m. fl.

2001; Morehead m. fl. 2001; Cejas m.fl. 2003; Tveiten m. fl. 2004; Lanes m. fl. 2012). De essensielle fettsyrene er ikke bare viktige som strukturelle komponenter i cellemembraner for å sikre fluiditeten til disse ved lave temperaturer, som energisubstrat, men også som forgjenger for viktige signalmolekyler, prostaglandiner. Dette er en type eikosanoider, kortlivete signalmolekyler som virker i nærheten av der de er produsert. De er biologisk svært aktive, og viktige for mange funksjoner slik som kontroll av ovulering og gyting, og for å stimulere reprodutiv atferd i fisk (Stacey & Goetz 1982). Prostaglandiner dannes fra fettsyrene ARA og EPA (Bell m. fl. 1994; Ganga m. fl. 2005). Prostaglandinene som dannes fra n-6 og n-3 fettsyrene har ulik biologisk funksjon, og forholdet mellom fettsyrene i dietten er derfor viktig. ARA er særs viktig for reproduksjon (Tocher, 2010; Norambuena m. fl. 2013), og er foretrukket substrat for produksjon av prostaglandiner som stimulerer produksjon av kjønnshormoner, induserer eggmodning og melkeproduksjon, og er involvert i atferd (Norambuena m. fl. 2013). ARA, EPA og DHA, konkurrerer om enzymene som regulerer produksjonen av eikosanoider, og forholdet mellom dem (EPA/DHA og ARA/EPA) er bestemmende for hvilke type prostaglandiner som vil produseres. Det er indikasjoner på at endringer i forholdet mellom de enkelte fettsyrene kan påvirke produksjon og sammensetningen av prostaglandiner (havabbor, Farndale m. fl. 1999). Da PG regulerer mange ulike fysiologiske prosesser, inkludert reproduksjon, kan en mangel eller ubalanse i ARA, EPA og DHA i dietten ha effekt på reproduksjon (Salze m. fl. 2006; Fernández-Palacios m. fl. 2011). ARA innhold (eller forholdet ARA/EPA) påvirker både fekunditet, eggviabilitet, klekking og overlevelse til larver (Fernández-Palacios m. fl. 2005). ARA (men verken EPA eller DHA) stimulerer til frislippelsen av testosteron i karpe, mens DHA og EPA blokkerer ARAs funksjon pga konkurranse om de samme enzymene (Wade m. fl. 1994). I kveite er ARA innhold i dietten direkte relatert til fertilisering (Mazorra m. fl. 2003). Behovet for essensielle fettsyrer er ikke klarlagt for artene som tiltrekkes anleggene, men i andre arter er behovet antagelig rundt 1 % av dietten.

Det er kjent at innholdet av n-3 HUFA i gonadene øker om innholdet i dietten økes (Lie m. fl. 1993), og fettsyresammensetningen i egg kan derfor påvirkes av diett. I ett forsøk hvor fettsyresammensetningen i egg gytt av intensivprodusert oppdrettstorsk og fôret standard torskefôr, var ikke fettinnhold ulikt egg gytt av foreldre holdt kort tid (fanget mellom september og februar) eller villfisk fanget rett før gyting (Salze m. fl. 2006). Fettinnholdet i torskkeegg er om lag 0,6 % av våtvekt. Det var heller ikke forskjell mellom gruppene i DHA, mens eggene fra villfisken hadde lavere EPA, oppdrettsfisken hadde lavere innhold av ARA, og da høyere ARA/EPA forhold (Salze m. fl. 2006). Det ble konkludert med at innhold av ARA eller forholdet ARA/EPA kunne ha en sammenheng med kvalitet til avkommet, da ARA innholdet, som % av totalt fettinnhold, sank fra ca. 3 % i vill fisk til 1 % i oppdrettsfisk, mens forholdet ARA/EPA sank fra 0,19 til 0,07. Det skal nevnes at gruppene som her er sammenlignet antagelig er fra ulike populasjoner, og som vist ovenfor kan det være betydelig forskjell mellom disse (jfr. data fra Øksfjord og Hitra, Fernández-Palacios m. fl. 2011; Baltisk og Skagerak-torsk, Pickova m. fl. 1997). Det er også gjort forsøk hvor baltisk torsk ble fôret med kommersielt tørrfôr og brisling (*Sprattus sprattus*) (tørrvektsvektforhold 1:1) i 24, 7 eller 2 måneder før gyting. Her ble fettsyreanalysene delt i fosfolipider (PL) og triacyglyseroler (TAG). PL fraksjonen i egg inneholder nær 50 % HUFA (Tocher & Sargent 1984; Fraser m.

fl. 1988; Pickova m. fl. 1997). Hverken i fosfolipid eller TAG delen ble det funnet signifikante forskjeller i noen fettsyrer, summen av n-3 eller n-6, og heller ikke i forholdet mellom dem. Forholdet DHA/EPA øker fra 1,5 til 1,9 jo lengre fisken har vært fôret. Dette forsøket kan kanskje sammenlignes med fisk som spiser både pellets og naturlige byttedyr under anlegg, da det ble blandet inn en betydelig mengde brisling i fôret, som inneholder ca. 18 % fett (data fra NIFES).

Siden eggene er så viktige, vil trolig sammensettingen av disse i stor grad være genetisk bestemt, muligens med populasjonsforskjeller (Pickova m. fl. 1997).

Fettsyresammensettingen i egg er vist å være veldig lik sammensettingen i vitellogenin, som er antatt å være svært konservert og bare påvirket av ekstreme dietter (Silversand m. fl. 1995). Dette kan indikere at sammensettingen av egg ofte vil beskyttes mot endringer i diett, men ved langvarig ubalanse i ernæringen til foreldrene vil eggene også påvirkes. Det finnes oss bekjent ikke tilgjengelige fettsyredata fra gonader hos vill marin fisk som har oppholdt seg under oppdrettsanlegg. Også andre deler av en diett vil kunne påvirke gytingen, slik som karbohydrater, vitaminer, mineraler, men disse er tilsatt fôret i overskudd av behov. Det er vist at astaxanthin, pigmentet som gjør laksen rød i kjøttet og som tilsettes laksefôr, har en positiv effekt på eggkvalitet for torsk (Salze m. fl. 2006; Sawanboonchun m. fl. 2008).

Mulige effekter på gametkvalitet hos villfisk som spiser mye oppdrettsfôr kan dermed være økt fekunditet og eggstørrelse, noe som kan være positivt for villfisken. Om fisken spiser fôr med astaxanthin og marine fettsyrer vil dette også kunne bidra positivt i forhold til eggkvalitet. Det er viktig at næringsstoffene står i riktig balanse til hverandre, og i så måte kan typiske påvekstfôr til laks ha en uheldig sammensetning, mens fôr til marine fiskearter som inneholder mer marine råstoffer kan komme noe bedre ut.

*Oss bekjent finnes det ikke studier som spesifikt har målt vekst per tid, biokjemisk sammensetting av gonader, potensiell fekunditet eller alder ved kjønnsmodning hos fisk som står ved anlegg. En kan derfor ikke si sikkert om og i hvilken grad oppdrett påvirker reprodusertivt potensiale hos slik villfisk. I henhold til det som finnes av kunnskap er det likevel rimelig å tro at avkommets viabilitet hos villfisk som spiser spillfôr med lavere eller ubalansert innhold av spesifikke næringsstoffer enn det som er optimalt for de enkelte artene vil kunne påvirkes.*

### *Fremmedstoffer og reproduksjon*

Sjøen inneholder allerede en rekke kjemikalier som potensielt kan forstyrre reproduksjonsbiologien til fisk (Kime 1995). Mange hormonforstyrrende kjemikalier (Endocrine Disruption Chemical, EDC) ender i havet, sammen med andre kjemikalier. Selv om punktvis målinger av fremmedstoffer i fisk som har assosiert med oppdrettsanlegg viser at nivåene av potensielt skadelige fremmedstoffer er svært lave og høyst trolig ufarlige, er det usikkert om og i hvilken grad fremmedstoffer vil akkumuleres oppover i næringskjeder, samt om det finnes mulige effekter av lave verdier over lang tid. Modeller som predikerer effekter

på reproduksjon fra PCB og Cd (Khan & Thomas 2001) indikerer at begge kan virke på mange deler av reproduksjonsaksen. Fisk som lever i vannet bioakkumulerer fettløselige kjemikalier, eksempelvis PCB som skader det neuroendokrine systemet (Khan & Thomas 2001) og sporelementer som kadmium (Cd) kan påvirke gonadotropin (GtH) reguleringen, og produksjon av kjønnshormoner (Khan & Thomas 2001, 2006). Å måle effekter i felten er forbundet med vanskeligheter, spesielt om det er lave konsentrasjoner over lang tid. Imidlertid er det målt endringer i kjønnshormonprofiler, atypiske konsentrasjoner av vitellogenin og gonadotropiner, unormal gonade og oocytvekst i eksponeringsforsøk, og ved tunge forurensingskilder (Kime 1995). Selv om det derfor er klart at forurensinger, også fra fiskeoppdrett, potensielt kan endre reproduksjonssystemet til villfisk, indikerer de lave verdiene at den risikoen som dette utgjør antagelig er liten, men det er ikke gjort undersøkelser som kan avklare dette.

Fôr inneholder relativt store konsentrasjoner av mineraler da de ofte er lite tilgjengelige for fisk. Det er målt forhøyede nivåer av sink, kobber, kadmium og mangan i sedimenter under oppdrettsanlegg (Lall og Milley 2008). De fleste marine næringskjeder viser høyest konsentrasjonsøkning av sporelementer i det laveste leddet (planteplankton), og innholdet av spesielt kadmium (Cd), kobber (Cu) og sink (Zn) øker i dyreplankton som beiter på disse (Lall & Milley, 2008). Planktonspisende fisk viser da mye høyere Cu og Zn verdier enn fisk som beiter på dyreplankton, mens fisk som beiter på dyreplankton og eller fisk har lavere verdier. Generelt ser det derfor ut til at konsentrasjonene av Cu, Cd og Zn øker oppover i næringskjeden på de lavere trofiske nivåene, opp til dyreplankton, men avtar i fisk (Lall & Milley, 2008). I en sammenligning mellom fisk fanget ved oppdrettsanlegg kunne en ikke konkludere med at disse hadde forhøyete verdier i forhold til vill fisk (Bustenes m. fl. 2011). Dettets studiet viste også til dels betydelig geografiske forskjeller og da enkelte stoffer akkumuleres under oppdrettsanlegg, må eventuelle effekter på reproduksjon, og ikke konsentrasjoner, undersøkes før en kan konkludere.

*Fremmedstoffer kan teoretisk sett påvirke reproduksjonen hos fisk dersom nivåene er høye nok eller akkumuleres over lang tid. Det finnes oss bekjent ingen studier der effekter på reproduksjon hos vill marin fisk som følge av fremmedstoffer fra oppdrett er undersøkt.*

### 3.3. ENDRING AV NATURLIG ATFERD HOS VILLFISK PÅ GRUNN AV HAVBRUK

Det er godt dokumentert at villfisk samles i nærheten av oppdrettsanlegg (se kapittel 2). Denne atferden kan på mange måter defineres som en naturlig respons siden villfisken finner føde, skjul og beskyttelse og drar nytte av det. Det som er spesielt i denne sammenhengen er etablering av oppdrettsanlegg i områder hvor det tidligere ikke var lignende habitat, verken naturlige eller kunstige, som fisken kan nyttiggjøre seg av. Det er vist at både torsk og sei kan være svært knyttet til oppdrettsstrukturene (Dempster m. fl. 2009; Sæther m. fl. 2012) spesielt på dagtid når det føres, med opp til 20 ganger mer fisk ved anleggene enn 200 meter unna. Det er også klart at oppholdstid, vandring og diett varierer mellom ulike arter. Eksempelvis er

sei funnet å vandre bort fra anleggene på natten (Uglem m.fl. 2009) og blir ofte fisket på med garn nattetid. Det er kjent at sei vandrer mellom nærliggende lokaliteter (Uglem m. fl. 2008; 2009; Skilbrei & Otterå 2012). Kanskje tiltrekkes de lyder tilknyttet fôringen og har lært å koble lyden til mat, noe som også er kjent fra annen fisk (Holt & Johnston, 2011). Torsk er muligens mer bundet til enkelte anlegg, men opptrer ikke så konsentrert under selve anlegget som sei. Dempster m. fl. (2009) forklarte dette ved at torsk kan være mindre avhengig av pellets ved anleggene enn sei (75 % av diett til sei besto av pellets, mot 30 % hos torsk). Selv om lukt fra pellets kan være årsaken til at torsk tiltrekkes anleggene kan det godt tenkes at torsk beiter på andre byttedyr som er tilgjengelig i økt mengde i tilknytning til oppdrettsanlegg. Tilførsel av organisk materiale fra lakseoppdrett kan føre til en markant økning i bunndyrsamfunn, og både antall arter og individ kan øke med opp til 60 ganger nær anlegg (Otterå m. fl. 2007). Dette vil igjen føre til økt fødetilbud høyere opp i næringskjeden, inkludert fisk. Andre studier gjennomført ved Havforskningsinstituttet viser klare effekter på bunndyrsamfunn også i noe avstand fra oppdrettsanlegg. Ved et anlegg i Uggdalsfjorden, var områder opp til en kilometer fra anlegget påvirket, med økt biomasse i nærsonen og et større mangfold i overgangssonen (Kutti & Olsen 2007; Kutti m. fl. 2007). Produksjonen av bunndyr viste her en tydelig sammenheng med årlig sedimentasjon fra anlegget. Lokaliteter i et lavproduktivt område ble i dette studiet vist å være svært produktive etter oppdrettsetableringen, med mengden arter, tetthet og biomasse langs gradienten uforandret gjennom hele studiet, noe som indikerer at samfunnet var stabilt over tid (Kutti & Olsen 2007; Kutti m. fl. 2007)). Dette viser at oppdrettsaktivitet kan ha effekter også via organisk utslipp, ved økt arts mangfold og biomasseproduksjon i områdene. Tilsvarende funn er gjort i Egeerhavet, der man sammenlignet områder med og uten oppdrettsvirksomhet, og fant en økt produksjon av villfisk i næringsfattige områder i nærhet til oppdrettsanlegg (Machias m. fl. 2005). Dette kan være fisk som aggregerer rundt anlegg, men siden landinger av fisk fra fiskeflåten også har økt tyder dette på at det er en økning i fiskebestanden per se (Machias m. fl 2003). Hvorvidt fiske på rømt fisk eller avkom etter rømt fisk bidrar til den observerte bestandsøkningen var imidlertid uklart. Det er også verdt å merke seg at det også er forskjeller i aggregeringsbildet mellom oppdrettsanlegg, gitt spesifikke forhold omkring tilgjengelig fiskekonsentrasjoner, habitat og anleggskarakteristika (strøm, dyp, forspill, lys m.m.) (Dempster m. fl. 2009). Analyse av mageinnhold fra sei og makrell fanget under anlegg i Ryfylke viste at de beitet på krill som trolig var tiltrukket av lyset som oppdretterne benytter i merdene.

*Tiltrekning til oppdrettsanlegg kan defineres som en naturlig respons siden villfisken finner føde, skjul og beskyttelse og drar nytte av det. Det som er relativt «nytt» er etablering av oppdrettsanlegg i områder hvor det tidligere ikke var lignende habitat, verken naturlige eller kunstige, som fisken nå kan nyttiggjøre seg av.*

### 3.4. ENDRINGER I GYTEATFERD HOS VILLFISK

Mange dyrearter bruker kjemiske signaler når de kommuniserer og for å regulere atferd. Kjemiske signaler mellom individer av same art (ofte omtalt som feromoner) kan påvirke utvikling, hormonelle endringer og/eller atferd, og det er kjent at feromoner har vesentlig betydning for flere faser av fiskens reproduksjon (Stacey & Sorensen, 2002, 2006). Hvor stor betydning feromonene kan ha eksemplifiseres ved bruken av dem til destruksjonsfiske av havniøye i Great Lakes i Nord-Amerika, hvor feromoner benyttes til å lede havniøye inn i fiskefeller (Sorensen & Stacey, 2004). Feromoner virker ofte over korte avstander før de er fortynnet utenfor deteksjonsgrensen (Sorensen m. fl. 2000), men noen feromoner fungerer også over lange distanser (Sorensen & Stacey, 2004). Siden feromoner kan påvirke både fysiologi og atferd ved svært lave konsentrasjoner ( $10^{-9}$ - $10^{-15}$ M), er det grunn til å anta at torsk holdt i store konsentrasjoner i oppdrett kan påvirke villtorsk via utskillelse av kjemiske signalstoffer, eksempelvis feromoner knyttet til reproduksjon. Det er fortsatt ukjent hvorvidt og eventuelt i hvor stor grad og ved hvilke konsentrasjoner reproduksjonsrelaterte feromoner har effekt hos torsk. Hos laksefisk synes ikke umoden fisk å registrere eller respondere på feromoner tilknyttet reproduksjon (Moore & Scott, 1992; Yambe & Yamazaki, 2000). Selv om det forholder seg slik at kjønnsmoden torsk bare kan registrereferomonene bare i begrensede perioder, kan mulige effekter på fisken likevel ikke utelukkes.

#### 3.4.1. MULIG PÅVIRKNING AV GYTEADFERD HOS TORSK

Gyteatferden hos torsk er komplisert (Brawn 1961; Hutchings m. fl. 1999; egne observasjoner) og vellykket reproduksjon synes å involvere en rekke handlinger; blant annet spesielle atferdstyper og akustiske signaler (Rowe m. fl. 2006) hos hanner og mulig påfølgende partnervalg hos hunnene. Her vil ventelig hunnen basere valget sitt på flere kvaliteter ved hannen, og feromoner kan være en viktig del av dette. Beinfisk frigir hormoner og metabolitter i vannet der flere av dem fungerer som kjønnsferomoner, eller kjemiske signalstoffer som er viktig for kommunikasjonen mellom kjønnene i de siste stadiene av kjønnsmodningen og selve gytingen (Stacey og Sorensen 2002). Torsk gyter vanligvis i mørke (Bekkevold m. fl. 2002), og i den sammenheng er det relevant å spørre seg hvordan torsken gjenkjenner artsfrender av motsatt kjønn? Hvordan kan hannene vite hvilke hunner de skal kurtisere (kjønnsmodne/ovulerte vs. Umodne hunner)? Hvilke kriterier legger hunnen til grunn med så begrenset visuell informasjon? Luktbarne kjemiske signaler (feromoner) i vannet er sannsynligvis viktig også for torskens siste faser av kjønnsmodningen og selve gytingen. Hos gullfisk, *Carassius auratus* (L), som er den kanskje mest studerte arten i denne sammenhengen, er det kjent at rateforholdet (konsentrasjoner) mellom ulike feromoner er avgjørende for hvilke responser de gir hos mottakeren (Stacey 1991). Blandingen av feromoner er sannsynligvis viktig for kommunikasjonen mellom fisk, siden de har et relativt begrenset kjemisk vokabular (Sorensen m.fl. 1998). Når det i tillegg er kjent at fisk er svært sensitive for feromoner, de kan registreres i pico- og nano-molar konsentrasjoner ( $10^{-12}$  til  $10^{-9}$  Molar), kan man ikke utelukke at luktstoffer fra oppdrettsfisk kan påvirke kjemisk kommunikasjon mellom villfisk i oppdrettsintensive områder. Det har vært hevdet fra lokale

fiskere at oppdrettsanlegg forhindrer den naturlige gytevandringen til torsk (Maurstad m. fl. 2008). Siden luktesansen generelt synes å være viktig for fiskens evne til å orientere seg, er det nærliggende å undersøke hvorvidt torsk på gytevandring reagerer på luktstoffer assosiert med oppdrett.

Eksperimentelt er det vist at torsk unngikk vann fra en tank med laks, og at denne adferden gjentok seg hos flere individer. Det ble også vist at responsen uteble når torskens luktorgan var blokkert; dermed er dette knyttet til fiskes luktesans (Sæther m.fl. 2007). Forsøkene ble også gjentatt med vann fra kar med oppdrettstorsk, med samme effekt på den villfangede torskens adferd. Dette kan tyde på at responsen ikke er knyttet til art, men snarere andre vannbårne komponenter av mer generell art. Interessant nok syntes responsen hos torken i adferdskammeret å variere med hvilken bakgrunn fisken hadde; oppdrettstorsk viste ingen tegn til adferdsendring mens villtorsk fanget nær anlegg viste en noe unnvikende adferd, men ikke like tydelig som kysttorsk fanget på vandring (Sæther m. fl. 2007). Dette forsøket ble gjennomført under kontrollerte forhold i laboratorium, hvor fisken valgte oppholdssted ut i fra ellers identiske betingelser i svært enkle omgivelser, med andre ord valgte den ikke bort noe (eksempelvis en gyteplass) ved å unngå å oppholde seg i kar med lukt fra laks. I ett oppfølgingsforsøk sammenlignet en atferden hos torsk med intakt og blokkert luktorgan i Øksfjord. Dette var torsk som ble fanget på vandring inn Øksfjorden før gyteperioden, og enten gjenutsatt på fangststedet eller ved et gyteområde inne i fjorden. Fjorden har flere anlegg, og flere kjente gytegrunner for torsk. En kunne ikke ut i fra atferden til de to gruppene dra noen endelig konklusjon (Bjørn m.fl. 2009), da det var liten forskjell i atferd mellom intakt og luktblokkert fisk og den observerte adferden innebar at begge gruppene syntes å avbryte vandringen innover fjorden. Da både luktblokkert og intakt fisk syntes å avbryte vandringen, er det ikke mulig å knytte denne adferden til luktbårne komponenter i vannet.

### *3.4.2. MULIG PÅVIRKNING AV GYTEADFERD HOS SEI*

I Ryfylke er det observert store mengder sei i tilknytning til oppdrettsanlegg (Ryfylkeprosjektet). I følge fiskere er dette sei som før anleggene ble etablert oppholdt seg i, og ble også fisket på, andre områder i Ryfylkebassenget. Dette er sei som vandrer innad i bassenget sommerstid, men som trekker ut i Nordsjøen på gytevandring om høsten. Skilbrei & Otterå (2012) har dokumentert vandring av sei innad i bassenget de senere år, der deler av seien vandrer mellom oppdrettsanleggene, tilsynelatende uten å trekke ut av fjordene for å gyte. Det er ikke kjent om dette reflekterer en endring i atferd hos denne fisken siden det trolig finnes stammer som har hatt slik atferd hele tiden, men det kan også reflektere et potensielt problem for fremtidig rekruttering av seibestanden i området. Fangstdata fra Austevoll viste imidlertid at gjennomsnittsvekten av seien fanget under oppdrettsanlegg gikk ned i perioden den vanligvis ville forlate fjorden for å vandre ut til gytefeltene, noe som ble tolket til at kun den kjønnsmodne fisken som var størst hadde forlatt området (Bjordal & Skar 1992). Dette er i så fall en viktig distinksjon, siden oppdrettsanlegg trolig kan defineres som en økologisk kilde om seien foretar gytevandring som normalt, men kan være en økologisk



felle om gytevandringen forsinkes. Dette forutsetter at sammensetningen av næringen som seien spiser ikke kompromitterer reproduksjonen betydelig.

*Det er teoretisk mulig at gyteatferden til både sei og torsk, og andre fiskearter kan påvirkes av ulike stimuli fra oppdrettsanlegg. Det er imidlertid komplisert og logistisk krevende å undersøke atferdsendringer på populasjonsnivå under naturlige forhold og det finnes oss bekjent ikke studier der denne typen problemstillinger er undersøkt på en måte som gjør det mulig å konkludere med hvorvidt slike effekter eksisterer.*

## 4. KONKLUSJON

- Hensikten med denne rapporten er å oppsummere og diskutere kunnskapen om effekter av Norsk havbruk på marine organismer, med vekt på kommersielle fiskearter, både fra et økologisk ståsted og i forhold til ulike interessenter i kystsonen. Vi har samlet og analysert kunnskap om mulige effekter av de vanligste oppdrettsartene i Norge. Siden oppdrett av laks er den klart største næringen er det fokusert mest på mulige effekter av lakseoppdrett, men vi har også inkludert kunnskap vedrørende mulige effekter for andre oppdrettsarter der slik kunnskap er tilgjengelig.
- Vi har først og fremst analysert og diskutert kunnskap vedrørende effekter av organisk avfall fra marint havbruk. Vi har her fokusert på eventuelle gjødslingseffekter og endring av bunnforhold, samt tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg og mulige effekter av dette på ulike interessent grupper, inkludert fiskeri, havbruk og turisme. Vi har også oppsummert eksisterende kunnskap vedrørende i hvilken grad marint havbruk kan tenkes å påvirke naturlig atferd og reproduksjon hos vill marin fisk.
- Selv om oppdrettsnæringen står for de største menneskeskapte utslippene av næringsstoffer og organisk stoff til norskekysten, er disse utslippene relativt sett små i forhold til naturlig tilførsel av slike stoffer. Det antas derfor at det generelt er liten risiko både for vesentlig global og regional overgjødsling av frie vannmasser, kanskje med unntak av lokale effekter i enkelte områder med spesielt dårlig vannutskifting og høy oppdrettsintensivitet.
- Benthiske effekter som følge av partikulære utslipp av spillfôr og fekalier er primært avhengig av dyp og strømforhold på oppdrettslokaliteten. På grunne lokaliteter med lite strøm blir bunnen like under anleggene mest påvirket, mens påvirkningen spres over et større område på dype og strømsterke lokaliteter. Påvirkningsgraden per areal er trolig større på strømsvake og indre lokaliteter enn på strømsterke og ytre lokaliteter der effekten spres over et større areal. Sannsynligheten for regional bunnpåvirkning i åpne kystområder og store fjorder med dyp terskel vurderes som meget liten, men den samlede lokale påvirkningen i enkelte områder med mye oppdrett kan likevel bli betydelig.
- Det er vist at forholdsvis store mengder villfisk kan tiltrekkes oppdrettsanlegg. I Norge er det primært snakk om sei, torsk, hyse og makrell. Årsaken til at villfisk aggregeres ved oppdrettsanlegg er trolig tilgang på spillfôr, men tilgang på mindre byttedyr, skjulested og muligens fekalier kan også bidra til tiltrekning av villfisk.
- Tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg kan påvirke ressurstilgjengelighet både for lokale kommersielle fiskerier og for rekreasjonsfiskere, siden det ikke er tillatt å fiske innen en sikkerhetssone på 100 meter fra anleggene. Det er oss bekjent ikke gjennomført systematiske undersøkelser for å dokumentere om og i hvilken grad tiltrekning av villfisk reduserer reell ressurstilgang for ulike fiskerier, men organisering av storskala kommersielt fiske etter tiltrukket villfisk bør også inkludere tiltak for å unngå eventuell lokal overbeskatning.
- Fiskere og fiskemottaksanlegg har opplevd og opplever stadig at tiltrukket fisk, fortrinnsvis sei, som har spist mye spillfôr kan være av en så dårlig kvalitet at den ikke er omsettbart. Forskning har så langt ikke greid å dokumentere under hvilke forhold dette vil skje, noe som kan skyldes at fisken i de eksisterende studiene har blitt behandlet optimalt, at ulike fangstmetoder er blitt benyttet for ulike grupper og at fisk som er sterkt påvirket av spillfôr

kanskje ikke har blitt undersøkt på riktig tidspunkt. Det er her primært behov for å bestemme under hvilke forhold kvaliteten på fisken blir så dårlig at den ikke kan omsettes, noe som igjen vil gjøre det mulig å foreslå tiltak i forhold til metoder for fangst og prosessering for å bedre kvaliteten på fôrsprengt villfisk.

- Tiltrekning av villfisk til oppdrettsanlegg kan også være positivt for utøvelsen av havbruk gjennom at villfisk spiser relativt høye andeler av fôrtapet og dermed trolig reduserer bunnpåvirkningen. Det kan imidlertid ikke utelukkes at villfisk som aggregeres ved oppdrettsanlegg kan ha en rolle i spredning av patogener mellom anlegg og til ville bestander. Det er videre vist at villfisk som samles ved anleggene kan spise små rømt oppdrettsfisk, men det er også spekulert i at rovfisk kan forårsake rømning ved å bite hull i nøtene (jfr. Blåfisk i Middelhavet, Sanchez-Jerez m.fl. 2008)
- Forholdet mellom sjøfisketurisme og påvirkning fra oppdrett på ville marine organismer er oss bekjent ikke spesifikt undersøkt. Siden villfisk tiltrekkes av oppdrettsanlegg og det ikke er tillatt å fiske nært anlegg, kan det imidlertid tenkes at villfiskressurser blir mindre tilgjengelig for sjøfisketurister.
- Økt mattilgang på grunn av spillfôr kan bedre vekst og kondisjon hos villfisk og dermed også føre til tidligere kjønnsmodning. Dette kan tenkes å påvirke gytetidspunkt og kanskje også vandringer knyttet opp mot gyting, noe som kan bety at fisken gyter på sub-optimale tidspunkt og steder. Økt mattilgang fører også til økte energireserver og kanskje økt mengde egg produsert per kilo fisk (fekunditet), men fiskefôret har en biokjemisk sammensetning som kan være uheldig for avkommets levedyktighet. Det finnes oss bekjent lite konkret kunnskap som viser at reproduksjonen hos villfisk faktisk påvirkes som diskutert i denne kunnskapsoppsummeringen.
- Forskjellige stimuli fra oppdrettsanlegg kan påvirke atferd og fordeling av villfisk i tid og rom. Tiltrekning av villfisk kan eventuelt medføre at tidspunkt for naturlig gytevandring påvirkes. Det er i denne sammenhengen hevdet at tiltrekning av sei til anlegg kan medføre at gytevandringen forsinkes. Men det er også hevdet at villfisk under enkelte forhold faktisk kan frastøtes fjorder med mye oppdrett. Eksempelvis hevdes det fra fiskerhold at innsigstorsk på gytevandring skyr fjorder med oppdrett, noe som ikke kan avvises med bakgrunn i eksisterende kunnskap. Det er imidlertid komplisert og logistisk krevende å undersøke atferdsendringer på populasjonsnivå under naturlige forhold og det finnes oss bekjent ikke feltbaserte studier der denne typen problemstillinger er undersøkt på en måte som gjør det mulig å konkludere med hvorvidt slike effekter eksisterer. Det er i denne sammenhengen behov for undersøkelser av atferd og fordeling av fisk i tid og rom før, under og etter etablering av oppdrett.
- Kunnskapsoppsummeringen viser generelt at marint havbruk kan påvirke biologien til en rekke marine organismer, noe som igjen kan påvirke ulike interessegrupper på forskjellig måte. Effektene kan variere mellom arter, livsstadier og andre økologiske faktorer, og kan påvirke forskjellige interessent grupper på varierende vis. Det er sannsynlig at det eksisterer scenario der for eksempel den økologiske påvirkningen er minimal, men effektene for de ulike interessentgruppene kan være både positive og negative.
- Kunnskapsoppsummeringen illustrerer derfor at utforming av eventuelle konfliktdepende eller avbøtende tiltak vil være en balansegang mellom å ivareta økosystemet og samtidig ta vare på ulike interessentgrupper. Det vil videre også være viktig at det fokuseres på flere

påvirkningsfaktorer og at evaluering av mulige økosystemeffekter av havbruk foretas på en helhetlig måte. Det vil si ikke bare i forhold til økologiske faktorer men også til samfunnsmessige faktorer, siden effekter av ulike påvirkningsfaktorer kanskje kan være kumulative eller synergistiske, eller kunne defineres som negative, nøytrale eller positive avhengig av ståsted eller perspektiv.

## ENGLISH CONCLUSION

- The purpose of this report is to summarize and discuss our knowledge about the effects of Norwegian aquaculture on marine organisms, with emphasis on commercial species, both from ecological and stakeholder standpoints. We have collected and analyzed knowledge regarding the potential effects of the most common farmed species. Since salmon farming is the largest industry, possible effects of salmon farming have received most focus, but we have also included knowledge regarding possible effects of other farmed species where such knowledge is available.
- We have mainly analysed and discussed knowledge regarding the effects of organic waste from marine aquaculture. We have focused on fertilization effects and benthic changes as well as attraction of wild fish at farms and possible effects of this on the various stakeholder groups, including fisheries, aquaculture and tourism. We have also summarized existing knowledge regarding the extent to which marine aquaculture may influence the natural behaviour and reproduction of wild marine fish.
- Although fish farming represents the largest man-made source of nutrients and organic matter to Norwegian coastal waters, these emissions are relatively minor compared to natural emissions. It is therefore assumed that there is little risk for significant global and regional eutrophication of the open waters to occur, perhaps with the exception of local effects in specific areas with poor water exchange and very high farming intensity.
- Benthic effects caused by particulate organic waste from uneaten feed and faeces are primarily dependent on depth and currents on the farming locality. At shallow sites with weak currents the bottom just below the farms will be most affected, while the impact is spread over a larger area at deep localities with stronger currents. The benthic impact per area is probably greater in fjord sites with weaker currents compared with more coastal sites with stronger currents. The likelihood of regional sea bed effects to occur in open coastal areas and large fjords with a deep sill is considered to be very small, but the local impacts in some areas with much farming may still be significant.
- It is shown that relatively large amounts of wild fish can be attracted to fish farms. In Norway, the most commonly observed species are saithe, cod, haddock and mackerel. The primary reason why wild fish aggregate at farms is abundance of waste feed. However, occurrence of smaller prey organisms, shelter and possibly also faeces may contribute to the attraction of wild fish.
- Aggregation of wild fish at farms may affect resource availability both for local commercial fisheries and recreational fishermen, since it is not allowed to fish within a safety zone of 100 meters from the farms. To our knowledge no systematic efforts have been carried out to document whether and to what extent the attraction of wild fish actually reduces resource availability for different fisheries, but organized large-scale commercial fishing for wild fish around farms should also include measures to prevent local overexploitation of the attracted fish species.
- Fishermen and fish buyers are experiencing that attracted fish, preferably saithe, that has eaten a lot of waste feed may be of so poor quality and that it is difficult to sell the fish for human consumption. Research has so far failed to document the conditions under which this will occur. This may be related to that the fish in the existing studies have been treated

more optimal than what is the case in small-scale commercial fisheries, that different processing methods have been used for collecting fish in different treatment groups and that fish being strongly influenced by waste feed have not been examined. It is thus a need for determining under what conditions the quality of the fish is so poor that it cannot be traded. Such knowledge will be important for suggesting measures related to harvesting and processing that will improve the quality of affected fish.

- Attraction of wild fish to farms may be positive for the farming industry as the wild fish can eat high proportions of waste feed and thus contribute to reduction of benthic impacts. However, the possibility that wild fish aggregating at farms may contribute to transfer of pathogens between farms or to wild populations cannot be ruled out. Furthermore, it has been shown that larger wild fish that aggregate at farms may predate on small escapees, but it is also suggested that wild predators can cause fish escape by biting holes in the nets (e.g. Bluefish in Mediterranean, Sanchez-Jerez *m.fl.* 2008).
- The relationship between fishing tourism and effects of aquaculture on wild fish has to our knowledge not been specifically investigated. Since wild fish are attracted to farms and it is not allowed to fish within 100 from the farms, it may be possible that the availability of wild fish resources is reduced for sea fishing tourists.
- Abundance of waste feed may improve growth and condition of the wild fish significantly, and thus also trigger early maturation. This may influence spawning patterns and seasonal migrations, which may result in out of season spawning on sub-optimal locations. Increased food availability may also lead to increased energy reserves and perhaps increased fecundity, but the waste feed can also have a biochemical composition that reduce offspring viability. To our knowledge, little specific knowledge exist that shows that the reproduction of wild farm associated fish farms actually is affected in a way that corresponds to what is hypothesized in this report.
- Various stimuli from fish farms can affect the behaviour and distribution of wild fish in time and space. Attraction of wild fish may involve that the timing of natural spawning migrations is affected. In this context it is suggested that attraction of saithe to farms may delay the off-shore spawning migration. But, it is also suggested that wild fish under certain conditions actually may be repelled from areas with much farming. For example, it is claimed that migrating coastal cod may deter fjords with high farming activity, something that cannot be ruled out based on current knowledge. It is, however, complicated and logistically difficult to study such behavioural changes at population level under natural conditions. As far as we know, no studies have been carried out that have addressed this issue in a way that allows us to conclude whether such effects exist. Such studies would involve mapping behaviour and spatiotemporal distribution of fish before, during and after the establishment of farming.
- In conclusion, the current knowledge review shows that marine aquaculture may affect the biology of a range of marine organisms. The effects can vary between species, life stages and other ecological factors, and can affect different stakeholder groups in different ways. Scenarios where e.g. the ecological impact is minimal, but where the effects of the various stakeholder groups can be both positive and negative, are likely to exist. The knowledge summary illustrates that development of preventive or mitigative actions could be a trade-off between preserving the ecosystem and simultaneously ensure the existence of various

stakeholder groups. A holistic approach where not only ecological factors but also social factors are taken into account is required to develop a sustainable aquaculture industry.

## 5. LITTERATUR

- Akyol O, Ertosluk O (2010) Fishing near sea-cage farms along the coast of the Turkish Aegean Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 26: 11–15.
- Amirkolaie AK, Leenhouwers JI, Verreth JAJ, Schrama JW (2005) Type of dietary fibre (soluble versus insoluble) influences digestion, faeces characteristics and faecal waste production in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Research* 36:1157-1166
- Anon. 2011. Vurdering av eutrofieringssituasjonen i kystområder, med særlig fokus på Hardangerfjorden og Boknafjorden. Rapport, Fiskeri- og kystdepartementet, 83 s.
- Anon. 2012. Lakselus og effekter på vill laksefisk – fra individuell respons til bestandseffekter. Temarapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 3, 56 s.
- Aquado-Giménez F, Ruiz-Fernández JM (2012) Influence of an experimental fish farm on the spatio-temporal dynamic of a Mediterranean maerl algae community. *Marine Environmental Research* 74: 47-55.
- Arechavala-Lopez P, Uglem I, Sanchez-Jerez P, Fernandez-Jover D, Bayle-Sempere JT, Nilsen R. (2010). Movements of grey mullets (*Liza aurata* and *Chelon labrosus*) associated with coastal fish farms in the western Mediterranean Sea. *Aquaculture Environment Interactions* 1: 127-136
- Åserud Olsen S, Ervik A, Grahl-Nielsen O (2012) Tracing fish farm waste in the northern shrimp *Pandalus borealis* (Krøyer, 1838) using lipid biomarkers. *Aquaculture environment interactions* 2: 133-144
- Aure J, Skjoldal HR (2003) Common procedure for identification of the eutrophication status. Application of the screening procedure for the Norwegian coast north of 62°N (Stad-Russian border). SFT report TA 1997/2003. 23 s.
- Bacher K, Gordo A, Sague O (2012) Spatial and temporal extension of wild fish aggregation at *Sparus aurata* and *Thunnus thynnus* farms in the north-western Mediterranean. *Aquaculture Environment Interactions* 2: 239-252
- Bagenal TB (1969) The relationship between food supply and fecundity in brown trout, *Salmo trutta* L. *Journal of Fish Biology* 1: 167-182
- Bekkevold D, Hansen MM, Loeschcke V (2002) Male reproductive competition in spawning aggregations of cod (*Gadus morhua*, L.). *Molecular Ecology* 11:91-102
- Bell GJ, Tocher D, MacDonald F, Sargent J (1994) Effects of diets rich in linoleic (18:2n - 6) and  $\alpha$ -linolenic (18:3n - 3) acids on the growth, lipid class and fatty acid compositions and eicosanoid production in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Fish Physiology and Biochemistry* 13:105-118
- Bell JG, Sargent JR (2003) Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. *Aquaculture* 218:491-499



- Bergheim A, Braaten B (2007) Modell for utslipp fra norske matfiskanlegg til sjø. Rapport IRIS – 2007/180, 35 s.
- Bjordal Å, Johnstone ADF (1993) Local movements of saithe (*Pollachius virens* L.) in the vicinity of fish cages. ICES marine Science Symposia, 196: 143-146
- Bjordal Å, Skar AB (1992) Tagging of Saithe (*Pollachius virens* L.) at a Norwegian Fish Farm: Preliminary Results on Migration. ICES Council Meeting Papers, 1992/G:35
- Bjørn PA, Uglem I, Kerwath S, Sæther BS, Nilsen R (2009) Spatiotemporal distribution of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) with intact and blocked olfactory sense during the spawning season in a Norwegian fjord with intensive salmon farming. *Aquaculture*. 286: 36-44
- Bjørn PA, Uglem I, Sæther BS, Dale T, Økland F, Nilsen R, Aas K, Tobiassen T (2007) Videreføring av prosjektet “Behavioural responses in wild coastal cod exposed to salmon farms: possible effects of salmon holding water - a field and experimental study”. Fiskeriforskning rapport, 6/2007, 38 sider.
- Black D, Love RM (1986) The sequential mobilization and restoration of energy reserves in tissues of Atlantic cod during starvation and refeeding. *Journal of Comparative Physiology, B* 156:469-479
- Bogevik AS, Natário S, Karlsten Ø, Thorsen A, Hamre K, Rosenlund G, Norberg B (2012) The effect of dietary lipid content and stress on egg quality in farmed Atlantic cod *Gadus morhua*. *Journal of Fish Biology* 81:1391-1405
- Borch T, Moilanen M, Olsen F (2011) Marine fishing tourism in Norway: structure and economic effects. *Økonomisk fiskeriforskning* 21: 1-17
- Bortone SA, Pereira Brandini F, Fabi G, Otake S (2011) Artificial Reefs in Fisheries Management. CRC Press, New York
- Boyra A, Sanchez-Jerez A, Tuya F, Espino F, Haroun R (2004) Attraction of wild coastal fishes to Atlantic subtropical cage fish farms, Gran Canaria, Canary Islands. *Environmental Biology of Fishes* 70: 393–401
- Brawn VM (1961) Reproductive behaviour of the cod (*Gadus morhua* L.). *Behaviour* 18:177-198
- Brinker A. , Friedrich, C. (2012). Fish meal replacement by plant protein substitution and guar gum addition in trout feed. Part II: Effects on faeces stability and rheology. *Biorheology*, 49: 27-48
- Brooks S, Waldo M (2009) The use of copper as a biocide in marine antifouling paints. In: *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies* (Eds. Hellio C, Yebra D) Woodhead Publishing Limited pp. 492- 521
- Brown JR, Gowen RJ, McLusky DS (1987) The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 109: 39-51
- Burridge L, Weis JS, Cabello F, Pizarro J, Bostick K (2010) Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*. 306: 7-23

- Bustnes JO, Borgå K, Dempster T, Lie E, Nygård T, Uglem I (2012) Latitudinal Distribution of Persistent Organic Pollutants in Pelagic and Demersal Marine Fish on the Norwegian Coast. *Environmental Science and Technology*. 46: 7836–7843
- Bustnes JO, Lie E, Herzke D, Dempster T, Bjørn PA, Nygård T, Uglem I (2010) Salmon Farms as a Source of Organohalogenated Contaminants in Wild Fish. *Environmental Science & Technology* 44: 8736-8743
- Bustnes JO, Nygård T, Dempster T, Ciesielski T, Munro Jenssen B, Bjørn PA, Uglem I. (2011) Do salmon farms increase the concentrations of mercury and other elements in wild fish? *J. Environ. Monit.* 13: 1687-1694
- Carss DN (1990) Concentrations of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farms. *Aquaculture* 90: 29-40
- Cejas JR, Almansa E, Villamandos JE, Badía P, Bolaños A, Lorenzo A (2003) Lipid and fatty acid composition of ovaries from wild fish and ovaries and eggs from captive fish of white sea bream (*Diplodus sargus*). *Aquaculture* 216:299-313
- Cho CY, Bureau DP (1997) Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feeds and feeding. *Progressive Fish Culturist* 59, 155-160.
- Cho CY, Bureau DP (2001) A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture Research* 32: 349-360
- Clynick BG, McKindsey CW, Archambault P (2008) Distribution and productivity of fish and macroinvertebrates in mussel aquaculture sites in the Magdalen islands (Québec, Canada) *Aquaculture* 283: 203–210
- Collins RA (1971) Cage culture of catfish in reservoir lakes. *Proceedings, Annual Conference Southeastern Association of Game and Fish Commissioners* 24: 489–496
- Cruz Castro CA, Hernández Hernández LH, Fernández Araiza MA, Ramírez Pérez T, Angeles López O (2011) Effects of diets with soybean meal on the growth, digestibility, Phosphorus and Nitrogen excretion of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Hidrobiológica* 21: 118-125
- D'Amours O, Archambault P, McKindsey C, Johnson LE (2008) Local enhancement of epibenthic macrofauna by aquaculture activities. *Maine Ecology Progress Series* 371: 73-84
- Damsgård B, Høy E, Uglem I, Hedger R, Izquierdo-Gomez D, Bjørn P-A (2012) Net-biting and escape behaviour in farmed Atlantic cod *Gadus morhua*: effects of feed stimulants and net traits. *Aquaculture Environment Interaction* 3: 1–9
- deBruyn, A.M.H., Trudel, M., Eyding, N., Harding, J. and others. 2006. Ecosystemic effects of salmon farming increase mercury contamination in wild fish. *Environmental Science and Technology* 40: 3489–3493
- Demetrio JA, Gomes LC, Latini JD, Agostinho AA (2012) Influence of net cage farming on the diet of associated wild fish in a Neotropical reservoir. *Aquaculture* 330-333: 171-178

- Dempster T, Sanchez-Jerez P, Bayle-Sempere JT, Gimenez-Casualdero F, Valle C (2002) Attraction of wild fish to sea-cage fish farms in the south-western Mediterranean Sea: spatial and short-term variability. *Marine Ecology Progress Series* 242: 237-252
- Dempster T, Sanchez-Jerez P, Bayle-Sempere J, Kingsford MJ (2004) Extensive aggregations of wild fish at coastal sea-cage fish farms. *Hydrobiologia* 525: 245-248
- Dempster T, Sanchez-Jerez P, Fernandez-Jover D, Bayle-Sempere J, Nilsen R, Bjorn PA (2011) Proxy measures of fitness suggest coastal fish farms can act as population sources and not ecological traps for wild gadoid fish. *PlosOne* 6: 1-9
- Dempster T, Sanchez-Jerez P, Uglem I, Bjørn PA (2010) Species-specific patterns of aggregation of wild fish around fish farms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86: 271-275
- Dempster T, Uglem I, Sanchez-Jerez P, Fernandez-Jover D, Bayle-Sempere J, Nilsen R, Bjørn PA. (2009) Coastal salmon farms attract large and persistent aggregations of wild fish: an ecosystem effect. *Marine Ecology Progress Series* 385: 1–14
- Diaz-Almela E, Marba N, Alvarez E, Santiago R, Holmer M, Grau A, Mirto S, Danovaro R, Petrou A, Argyro M, Karakassis I, Duarte CM (2008) Benthic input rates predict seagrass (*Posidonia oceanica*) fish farm induced decline. *Marine Pollution Bulletin* 56: 1332-1342.
- Dolenec T, Lojen S, Kniewald G, Dolenec M, Rogan N (2007) Nitrogen stable isotope composition as a tracer of fish farming in invertebrates *Aplysina aerophoba*, *Balanus perforatus* and *Anemonia sulcata* in central Adriatic. *Aquaculture* 262:237-249
- Duarte CM, Frederiksen M, Grau A, Karakassis L, Marba N, Mirto S, Pérez P, Pusceddu A, Tsapakis M (2008) Effects of fish farm waste on *Posidonia oceanica* meadows; Synthesis and provision of monitoring and management tools. *Marine Pollution Bulletin* 56: 1618-1629.
- Farndale BM, Bell JG, Bruce MP, Bromage NR, Oyen F, Zanuy S, Sargent JR (1999) Dietary lipid composition affects blood leucocyte fatty acid compositions and plasma eicosanoid concentrations in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 179:335-350
- Ferguson A, Fleming I, Hindar K, Skaala Ø, McGinnity P, Cross TF, Prodöhl P (2007) Farm escapes. In: Verspoor E, Stradmeyer L Nielsen JL (eds) *The Atlantic salmon: genetics, conservation and management*. Blackwell Science, Oxford, p 357–398
- Fernandez-Jover D, Lopez-Jimenez JA, Sanchez-Jerez P, Bayle-Sempere J, Gimenez-Casualduero F, Martinez-Lopez FJ, Dempster T (2007) Changes in body condition and fatty acid composition of wild Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*, Steindachner, 1868) associated to sea-cage fish farms. *Mar. Environ. Res.* 63: 1-18
- Fernandez-Jover D, Martinez-Rubio L, Sanchez-Jerez P, Bayle-Sempere JT, Lopez-Martinez FJ, Bjørn PA, Uglem I, Dempster T (2011) Waste feed from coastal fish farms: A trophic subsidy with compositional side effects for wild gadoids *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 91. 559-568
- Fernandez-Jover D, Sanchez-Jerez P, Bayle-Sempere J, Valle C, Dempster T (2008) Seasonal patterns and diets of wild fish assemblages associated to Mediterranean coastal fish farms. *ICES J. Mar. Sci.* 65: 1153-1160

- Fernández-Palacios H, Izquierdo MS, Robaina L, Valencia A, Salhi M, Vergara J (1995) Effect of n – 3 HUFA level in broodstock diets on egg quality of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture* 132:325-337
- Fernández-Palacios H, Norberg B, Izquierdo M, Hamre K (2011) Effects of broodstock diet on eggs and larvae. In: Holt GJ (red) *Larval Fish Nutrition*. Wiley-Blackwell
- Findlay RH, Watling L, Mayer LM (1995) Environmental impact of salmon net-pen culture on marine benthic communities in Maine: a case study. *Estuaries* 18, 145-179.
- Fossen I (2012) Effekt av oppdrettsaktivitet på marin villfisk utenfor Nordmøre. Mørefoskning. Rapport nr. MA12-16. 31 pp.
- Fraser AJ, Gamble JC, Sargent JR (1988) Changes in lipid content, lipid class composition and fatty acid composition of developing eggs and unfed larvae of cod (*Gadus morhua*). *Marine Biology* 99:307-313
- Ganga R, Bell JG, Montero D, Robaina L, Caballero MJ, Izquierdo MS (2005) Effect of dietary lipids on plasma fatty acid profiles and prostaglandin and leptin production in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 142:410-418
- Glover KA, Quintela M, Wennevik V, Besnier F, Sørvik AGE, Skaala Ø (2012) Three decades of farmed escapees in the wild: A spatio-temporal analysis of Atlantic salmon population genetic structure throughout Norway. *PLoS ONE* 7:e43129
- Godø OR og Moksness E. (1987). Growth and maturation of Norwegian coastal cod and Northeast Arctic cod under different conditions. *Fisheries Research* 5: 235-252.
- Gowen RJ, Ezzi IA (1994) Assessment and prediction of the potential for hypereutrophication and eutrophication associated with cageculture of salmonids in Scottish waters. *Dunstaffnage Marine Laboratory, Oban Scotland*, 137 p.
- Gowen RJ, Tett P, Jones KJ (1983) The hydrography and phytoplankton ecology of Loch Ardbhair: A small sea loch on the West Coast of Scotland. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 71: 1-16.
- Hall POJ, Anderson LG, Holby O, Kollberg S, Samuelsson M-O (1990) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 61, 61-73.
- Hall-Spencer J, White N, Gillespie E, Katie G, Foggo A (2006) Impact of fish farms on maerl beds in strongly tidal areas. *Marine Ecology Progress Series*. 326: 1-9.
- Handeland SO, Imsland AK, Stefansson SO. (2008). The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture*; 283: 36-42.
- Hansen LA, Dale T, Uglem I, Aas K, Damsgård B & Bjørn P-A (2009) Escape related behaviour of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in a simulated farm situation. *Aquaculture research* 40: 26-34
- Hansen PK, Bannister R, Husa V (2011) Utslipp fra matfiskanlegg. Påvirkning på grunne og dype hardbunnslokalteter. Rapport fra Havforskningen NR 21-2011.

- Hansen PK, Pittman K, Ervik A (1990) Recipientpåvirkning fra fiskeopdræt. Affald fra akvakultur - omsætning og miljøpåvirkning. Havforskningsinstituttets rapportserie L.nr. 21/90.
- Hansen PK, Pittman K, Ervik A (1991) Organic waste from marine fish farms - effects on the seabed. In: Makinen, T. (Ed.), Marine Aquaculture and Environment. Nord, vol. 22, pp. 105–21.
- Hardy RW (1996) Alternative protein sources for salmon and trout diets. Animal and Feed science Technology, 59: 71-80
- Hargrave BT, Duplisea DE, Pfeiffer E, Wildish DJ (1993) Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. Mar. Ecol. Prog. Ser. 96, 249-257.
- Heuch PA, Jansen PA, Hansen H, Sterud E, MacKenzie K, Haugen P, Hemmingsen W (2011) Parasite faunas of farmed cod and adjacent wild cod populations in Norway: a comparison. Aquaculture Environment Interactions. 2: 1-13
- Hindar K, Fleming IA, McGinnity P, Diserud O (2006) Genetic and ecological effects of salmon farming on wild salmon: modeling from experimental results. ICES J Mar Sci 63: 1234–1247
- Holmer M, Christensen E (1992) Impact of marine fish cage farming on metabolism and sulfate reduction of underlying sediments. Mar. Ecol. Prog. Ser. 80: 191-201
- Holmer M, Christensen E (1996) Seasonality of sulfate reduction and pore water solutes in a marine fish farm sediment: the importance of temperature and sedimentary organic matter. Biogeochem. 32: 15-39
- Holmer M. 2010. Environmental issues of fish farming in offshore waters: perspectives, concerns and research needs. Aquaculture Environment Interactions 1: 57–70
- Holt DE & Johnson CE (2011). Can you hear the dinner bell? Response of cyprinid fishes to environmental acoustic cues. Animal Behaviour 82: 529-534
- Husa V, Hansen PK, Ervik A, Aure J, Bannister R (2013) Utslipp av partikulære og løste stoffer fra matfiskanlegg. I: Taranger GL, Svåsand T, Kvamme BO, Kristiansen T, Boxaspen KK (red.) Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2012. Fisken og Havet, særnr. 3-2013, s. 104-129.
- Husa V, Kutti T, Ervik A, Sjøtun K, Hansen PK, Aure J (in press) Regional impact from finfish farming in an intensive production area (Hardangerfjorden, Norway). Marine Biology Research.
- Hutchings JA, Bishop TD, McGregor-Shaw CR (1999) Spawning behaviour of Atlantic cod, *Gadus morhua*: evidence of mate competition and mate choice in a broadcast spawner. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 56:97-104
- Izquierdo MS, Fernández-Palacios H, Tacon AGJ (2001) Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. Aquaculture 197:25-42
- Jensen Ø, Dempster T, Thorstad EB, Uglem I, Fredheim A. (2010) Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences and prevention. Aquaculture Environment Interactions 1, 71-83

- Jobling M (1988) A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* L. with particular reference to growth under farmed conditions. *Aquaculture* 70:1-19
- Jobling M (2004) Are modifications in tissue fatty acid profiles following a change in diet the result of dilution?: Test of a simple dilution model. *Aquaculture* 232:551-562
- Johansen L-H, Jensen I, Mikkelsen H, Bjørn P-A, Jansen PA, Bergh Ø (2011) Disease interaction and pathogens exchange between wild and farmed fish populations with special reference to Norway. *Aquaculture* 315, 167186
- Johnston TA, Keir M, Power M (2010) Response of Native and Naturalized Fish to Salmonid Cage Culture Farms in Northern Lake Huron, Canada. *Transactions of the American Fisheries Society* 139: 660-670
- Karakassis I, Hatziyanni E (2000) Benthic disturbance due to fish farming analysed under different levels of taxonomic resolution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 203: 247-253.
- Karlsen Ø, Hemre G-I, Tveit K, Rosenlund G (2006) Effect of varying levels of macro-nutrients and continuous light on growth, energy deposits and maturation in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture* 255: 242-254
- Karlsen Ø, Holm JC, Kjesbu OS (1995) Effects of periodic starvation on reproductive investment in first-time spawning Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* 133: 159-170
- Khan IA, Thomas P (2001) Disruption of Neuroendocrine Control of Luteinizing Hormone Secretion by Aroclor 1254 Involves Inhibition of Hypothalamic Tryptophan Hydroxylase Activity. *Biology of Reproduction* 64: 955-964.
- Khan IA, Thomas P (2006) PCB congener-specific disruption of reproductive neuroendocrine function in Atlantic croaker. *Marine Environmental Research* 62, Supplement 1: S25-S28.
- Akse L, Joensen S, Tobiassen T, Skøtt P (2006) Temperaturkontroll ved produksjon av fersk filet. Norwegian Institute of Fisheries and Aquaculture Research, Rapport 23/2006.
- Kime DE (1995) The effects of pollution on reproduction in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 5: 52-95
- Kjesbu OS, Klungsøyr J, Kryvi H, Witthames PR, Greer-Walker M (1991) Fecundity, atresia, and egg size of captive Atlantic cod (*Gadus morhua*) in relation to proximate body composition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 2333-2343
- Kjesbu OS, Righton D, Krüger-Johnsen M, Thorsen A, Michalsen K, Fonn M, Witthames PR (2010) Thermal dynamics of ovarian maturation in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67: 605-625
- Kjesbu OS, Witthames PR, Solemdal P, Greer-Walker M (1998) Temporal variations in the fecundity of Arcto-Norwegian cod (*Gadus morhua*) in response to natural changes in food and temperature. *Journal of Sea Research* 40:303-321
- Krkošek M (2010) Host density thresholds and disease control for fisheries and aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions* 1: 21–32

- Krkosek M, Revie CW, Gargan PT, Skilbrei OT, Finstad B, Todd CT (2012) Impact of parasites on salmon recruitment in the Northeast Atlantic Ocean. *Proc. R. Soc. B* 2013 280, 20122359 first published online 7 November 2012
- Krogdahl Å, Penn M, Thorsen J, Refstie S, Bakke AM (2010) Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquaculture Research* 41: 333-344
- Kutti T (2008) Regional impact of organic loading from a salmonids farm-dispersal, sedimentation rates, and benthic fauna response. PhD Thesis, University of Bergen.
- Kutti T, Ervik A, Hansen PK (2007a). Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. I. Vertical export and dispersal processes. *Aquaculture* 262: 367-381
- Kutti T, Ervik A, Høisæter T (2008) Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. III. Linking deposition rates of organic matter and benthic productivity. *Aquaculture* 282: 47-53
- Kutti T, Hansen PK, Ervik A, Høisæter T, Johannessen P (2007b) Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition. *Aquaculture* 262: 355-366
- Kutti T, Olsen SA (2007) Oppdrett stimulerer dyreliv i fjordene. I (E. Dahl E, Hansen PH, Haug T, Karlsen Ø (red). *Kyst og havbruk 2007. Fisken og havet, særnr. 2-2007*, s. 195–197
- Lall SP, Milley JE (2008) Impact of aquaculture on aquatic environment: trace mineral discharge. In: Schlegel P, Durosoy S, Jongbloed AW (eds) *Trace elements in animal production systems*. Wageningen Academic Publishers, the Netherlands
- Lanes CFC, Bizuayehu TT, Bolla S, Martins C, de Oliveira Fernandes JM, Bianchini A, Kiron V, Babiak I (2012) Biochemical composition and performance of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) eggs and larvae obtained from farmed and wild broodstock. *Aquaculture* 324–325: 267–275
- Langford KH, Øxnevad S, Schøyen M, Thomas KV (2011) Environmental screening of veterinary medicines used in aquaculture – diflubenzuron and teflubenzuron. NIVA-rapport 6133-2011, 51s.
- Lea P, Rodbotten M, Naes T (1995) Measuring validity in sensory analysis. *Food Quality and Preference* 6: 321-326
- Luquet P, Watanabe T (1986) Interaction "nutrition-reproduction" in fish. *Fish Physiology and Biochemistry* 2: 121-129
- Machias A, Giannoulaki M, Somarakis S, Maravelias CD, Neofitou C, Koutsoubas D, Papadopoulou KN, Karakassis I (2006) Fish farming effects on local fisheries landings in oligotrophic seas. *Aquaculture*, 261: 809–816
- Machias A, Karakassis I, Giannoulaki M, Papadopoulou KN, Smith CJ, Somarakis S (2005) Response of demersal fish communities to the presence of fish farms. *Mar. Ecol Prog. Ser.* 288: 241-280
- Marshall CT, Yaragina NA, Lambert Y, Kjesbu OS (1999) Total lipid energy as a proxy for total egg production by fish stocks. *Nature* 402: 288-290

- Marteinsdottir G, Begg GA (2002) Essential relationships incorporating the influence of age, size and condition on variables required for estimation of reproductive potential in Atlantic cod *Gadus morhua*. Marine Ecology Progress Series 235: 235-256
- Maurstad A, Dale T, Bjørn PA (2007) You wouldn't spawn in a septic tank, would you? Human Ecology 35: 601-610
- Mazorra C, Bruce M, Bell JG, Davie A, Alorend E, Jordan N, Rees J, Papanikos N, Porter M, Bromage N (2003) Dietary lipid enhancement of broodstock reproductive performance and egg and larval quality in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). Aquaculture 227:21-33
- McGinnity P, Prodöhl P, Maoiléidigh NÓ, Hynes R and others (2004) Differential lifetime success and performance of native and non-native Atlantic salmon examined under communal natural conditions. J Fish Biol 65:173-187
- Moe H, Dempster T, Sunde LM, Winther U, Fredheim A (2007) Technological solutions and operational measures to prevent escapes of Atlantic cod (*Gadus morhua*) from sea cages. Aquacult Res 38: 91-99
- Moe H, Gaarder R, Sunde LM, Borthen J, Olafsen K (2005) Rømmingssikker not for torsk. Sintef fiskeri og havbruk. SFH A 054041 rapport. 52 pp.
- Moore, A. , Scott, A. P. 1992. 17 $\alpha$ ,20 $\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one-20-sulphate is a potent odorant in precocious male Atlantic salmon parr which have been pre-exposed to the urine of ovulated femalels. Proc. Royal Soc. London, Series B, 249:205-209.
- Morehead DT, Hart PR, Dunstan GA, Brown M, Pankhurst NW (2001) Differences in egg quality between wild striped trumpeter (*Latris lineata*) and captive striped trumpeter that were fed different diets. Aquaculture 192:39-53
- Morris DS (1996) Seal predation at salmon farms in Maine, an overview of the problem and potential solutions. Marine Technology Society Journal 30: 39-43
- Morrisey DJ, Cole RG, Davey NK, Handley SJ, Bradley A, Brown SN, Madarasz A (2006) Abundance and diversity of fish on mussel farms in New Zealand. Aquaculture 252: 277-288
- Murphy CA, Rose KA, Thomas P (2005) Modeling vitellogenesis in female fish exposed to environmental stressors: predicting the effects of endocrine disturbance due to exposure to a PCB mixture and cadmium. Reproductive Toxicology 19: 395-409
- Nanton DA, Lall SP, McNiven MA (2001) Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. Aquaculture Research 32: 225-234
- Naylor R, Hindar K, Fleming IA, Goldburg R, Williams S, Volpe J, Whoriskey F, Eagle J, Kelso D, Mangel M (2005) Fugitive salmon: assessing the risks of escaped fish from net-pen aquaculture. BioScience 55: 427-437
- Nimmo F, Cappel R, Huntington T, Grant A (2011) Does fish farming impact on tourism in Scotland. Aquaculture research 42, 132-141
- Nimmo F, Cappel R, Grant A (2009) Literature Review of Evidence that Fish Farming Impacts on Tourism. Report 9S6186/R/303306/Edin April 2009. 55 pp.



- Norambuena F, Morais S, Estévez A, Bell JG, Tocher DR, Navarro JC, Cerdà J, Duncan N (2013) Dietary modulation of arachidonic acid metabolism in senegalese sole (*Solea senegalensis*) broodstock reared in captivity. *Aquaculture* 372–375:80-88
- Oakes CT, Pondella DJ (2009) The value of a net-cage as a fish aggregating device in southern California. *Journal of the World Aquaculture Society* 40: 1–21
- Olsen RE, Skilbrei OT (2010) Feeding preference of recaptured Atlantic salmon *Salmo salar* following simulated escape from fish pens during autumn. *Aquaculture Environment Interactions*.1: 167-164
- Olsen SA, Ervik A, Grahl-Nielsen O (2009) Deep-water shrimp (*Pandalus borealis*, Krøyer 1838) as indicator organism for fish-farm waste. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 381:82-89
- Olsen Y, Olsen LM (2008) Environmental impact of aquaculture on coastal planktonic ecosystems. I: Tsuka moto K, Kawamura T, Takeuchi T, Beard TD Jr, Kaiser MJ (red) Fisheries for global welfare and environment. Proc 5th World Fisheries Congress 2008, Terrapub, Tokyo, p 181–196
- Otterå H, Carlehög M, Karlsen Ø, Akse L, Borthen J, Ellertsen G (2007) Effect of diet and season on quality of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Lwt-Food Science and Technology* 40:1623-1629
- Otterå H, Karlsen Ø, Slinde E, Olsen RE (2009) Quality of wild-captured saithe (*Pollachius virens* L.) fed formulated diets for 8 months. *Aquaculture Research*, 40: 1310-1319
- Otterå H, Skilbrei O (2012) Akustisk overvåking av seien sin vandring i Ryfylkebassenget. Rapport fra Havforskningen nr. 14-2012
- Pickova J, Dutta PC, Larsson P-O, Kiessling A (1997) Early embryonic cleavage pattern, hatching success, and egg-lipid fatty acid composition: comparison between two cod (*Gadus morhua*) stocks. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54:2410-2416
- Pitta P (1996) Dynamics of the plankton community in sea bream (*Sparus aurata*) rearing mesocosms. PHD Thesis. University of Crete, Heraklion.
- Pitta P, Apostolaki ET, Tsagaraki T, Tsapakis M, Karakassis I (2006) Fish farming effects on the chemical and microbiological variables of the water column: a spatio-temporal study along the Mediterranean Sea. *Limn. Hydrobiologia* 563: 99-108.
- Pitta P, Giannakourou A, Divanach P, Kentouri M (1998) Planctonic food web in marine mesocosms in the Eastern Mediterranean: Bottom-up or top-down regulation. *Hydrobiologia* 363: 97-105.
- Pitta P, Karakassis I, Tsapakis M, Zivanovic S (1999) Natural vs. Mariculture derived nutrients and plankton in the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 391: 181-194.
- Pitta P, Tsapakis M, Apostolaki ET, Tsagaraki T, Holmer M, Karakassis I (2009) ‘Ghost nutrients’ from fish farms are transferred up the food web by phytoplankton grazers. *Mar. ecol. Prog. Ser.* 374: 1-6.

- Pulkkinen K, Suomalainen L-R, Read AF, Ebert D, Rintamäki P, Valtonen ET (2010). Intensive fish farming and the evolution of pathogen virulence: the case of columnaris disease in Finland. *Proc. R Soc. Lond. B Biol. Sci.* 277: 593–600
- Reid GK, Liutkus M, Robinson SMC, Chopin TR, Blair T, Lander T, Mullen J, Page F, Moccia RD (2009) A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Research* 40:257-273
- Rideout RM, Morgan MJ, Lilly GR (2006) Variation in the frequency of skipped spawning in Atlantic cod (*Gadus morhua*) off Newfoundland and Labrador. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 63: 1101-1110
- Ritz DA, Lewis ME, Shen MA (1989) Response to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid seacages. *Mar. Biol.* 103: 211-214
- Robertson BA, Hutto RL (2006) A framework for understanding ecological traps and an evaluation of existing evidence. *Ecology* 87: 1075–1085.
- Rosenlund G, Karlsen Ø, Tveit K, Mangor-Jensen A, Hemre G-I (2004) Effect of feed composition and feeding frequency on growth, feed utilization and nutrient retention in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquaculture Nutrition* 10: 371-378
- Rosenlund G, Lied E (1986) Growth and muscle protein synthesis in vitro of saithe (*Pollachius virens*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in response to protein-energy intake. *Acta Agriculturae Scandinavica* 36: 195-204
- Rowe DK, Thorpe JE (1990) Suppression of maturation in male Atlantic salmon parr (*Salmo salar*) by reduction in feeding and growth during spring months. *Aquaculture* 86: 291-313
- Rowe DK, Thorpe JE, Shanks AM (1991) Role of fat stores in the maturation of male Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 405-413
- Rowe S, Hutchings JA (2006) Sound production by Atlantic cod during spawning. *Transactions of the American Fisheries Society* 135:529-538
- Sæther BS, Bjørn PA, Dale T (2007). Behavioural responses in wild cod (*Gadus morhua* L.) exposed to fish holding water. *Aquaculture* 262, 260-267
- Sæther BS, Løkkeborg S, Humborstad OB, Tobiassen T, Hermansen Ø, Midling KØ (2012) Fangst og mellomlagring av villfisk ved oppdrettsanlegg. *NOFIMA rapport 8/2012*, 37 sider.
- Salze G, Tocher DR, Roy WJ, Robertson DA (2005) Egg quality determinants in cod (*Gadus morhua* L.): egg performance and lipids in eggs from farmed and wild broodstock. *Aquaculture Research* 36:1488-1499
- Samuelsen O, Tjensvoll T, Hannisdal R, Agnalt A-L, Lunestad BT (2013) Flubenzuroner i fiskeoppdrett - miljøaspekter og restkonsentrasjoner i behandlet fisk. *Rapport fra Havforskningen. N2 - 2013*
- Samuelsen OB, Lunestad BT, Husevåg B, Hølleland T, Ervik A (1992) Residues of oxolinic acid in wild fauna following medication in fish farms. *Diseases of Aquatic Organisms* 12: 111-119

- Sanchez-Jerez P, Fernandez-Jover D, Bayle-Sempere J, Valle C, Dempster T, Tuya F, Juanes F (2008) Interactions between bluefish *Pomatomus saltatrix* (L.) and coastal sea-cage farms in the Mediterranean Sea. *Aquaculture* 282: 61–67
- Sanchez-Jerez P, Fernandez-Jover D, Uglem I, Arechavala P, Dempster P, Bayle Sempere J, Valle Pérez C, Izquierdo D, Bjørn P-A, Nilsen R. (2011). Coastal fish farms as fish aggregation devices (FADs). In: *Artificial Reefs in Fisheries Management* (Eds: Bortone SA, Pereira Brandini F, Fabi G, Otake S). CRC Press. 368 pp.
- Sanderson JC, Cromey CJ, Dring MJ, Kelly M (2008) Distribution of nutrients for seaweed cultivation around salmon cages at farm sites in North-West Scotland. *Aquaculture* 278: 60:68.
- Sanz-Lazaro C, Belando MD, Marin-Guirao L, Navarrete-Mier F, Marin A (2011) Relationship between sedimentation rates and benthic impact on Maerl beds derived from fish farming in the Mediterranean. *Marine Environmental Research* 71:22-30.
- Sargent J, Bell G, McEvoy L, Tocher D, Estevez A (1999) Recent development in the essential fatty acid nutrition in fish. *Aquaculture*:191-199
- Sargent JR, McEvoy LA, Bell JG (1997) Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture*, Book 155
- Sawanboonchun J, Roy WJ, Robertson DA, Bell JG (2008) The impact of dietary supplementation with astaxanthin on egg quality in Atlantic cod broodstock (*Gadus morhua*, L.). *Aquaculture* 283:97-101
- Schaffelke B (1999) Particulate organic matter as an alternative nutrient source in tropical *Sargassum* species (Fucales, Phaeophyceae). *J. Phycol.* 35, 1150–1157
- Selvik JR, Tjomsland T, Høgåsen T (2013) TEOTIL Kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor til norke kystområder i 2011 – tabeller og figurer. NIVA notat, 22s.
- Sepulveda M, Oliva D (2005) Interactions between South American sea lions *Otaria flavescens* (Shaw) and salmon farms in southern Chile. *Aquaculture Research* 36: 1062-1068
- Serra-Llinares RM, Nilsen R, Uglem I, Arechavala-Lopez P, Bjørn PA, Noble C (2013) Post-escape dispersal of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L) from Norwegian fish farms and their potential for recapture. *Aquaculture Environment Interactions*
- Silversand C, Haux C (1995) Fatty acid composition of vitellogenin from four teleost species. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 164:593-599
- Simpson AL (1992) Differences in body size and lipid reserves between maturing and nonmaturing Atlantic salmon parr, *Salmo salar* L. *Canadian Journal of Zoology* 70: 1737-1742
- Skaala Ø, Wennevik V, Glover KA (2006) Evidence of temporal genetic change in wild Atlantic salmon, *Salmo salar* L., populations affected by farm escapees. *ICES J Mar Sci* 63:1224–1233
- Skilbrei OT, Finstad B, Urdal K, Bakke G, Kroglund F, Strand R (2013) Impact of early salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) infestation, and differences in survival and marine growth of sea-ranched Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts 1997 – 2009. *Journal of Fish Diseases*, DOI:10.1111/jfd.12052

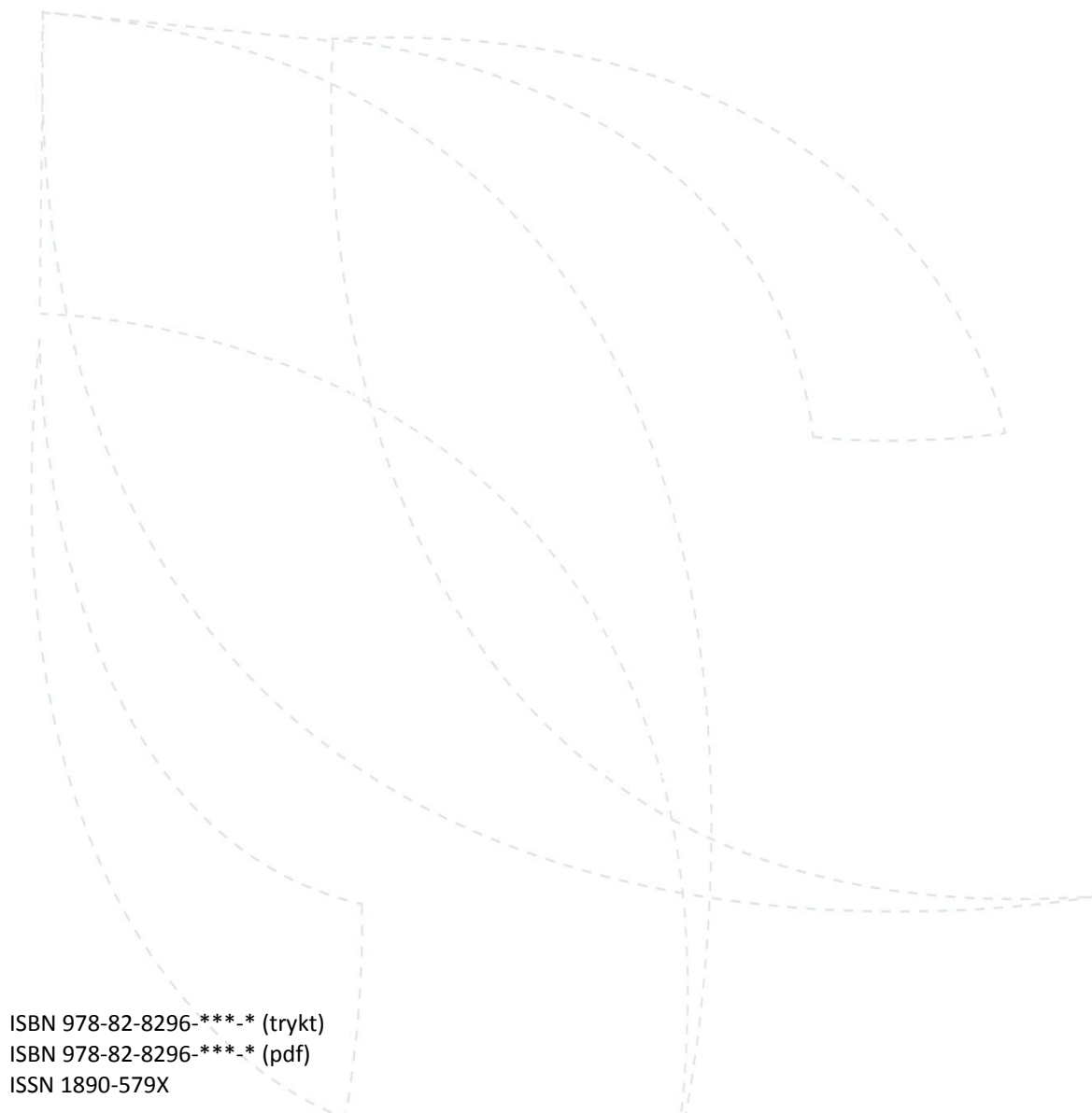
- Skjæraasen JE, Salvanes AGV, Karlsen Ø, Dahle R, Nilsen T, Norberg B (2004) The effect of photoperiod on sexual maturation, appetite and growth in wild Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Fish Physiology and Biochemistry* 30:163-174
- Skjoldal H.R. (Ed) (1997a) Kyststrekningen Jomfruland-Stad. Vurdering av eutrofitilstand. Rapport 2 fra ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystvann. SFT, Norge. 129 s.
- Skog TE, Hylland K, Torstensen BE, Berntssen MHG (2003) Salmon farming affects the fatty acid composition and taste of wild saithe *Pollachius virens* L. *Aquaculture Research*, 34: 999-1007
- Sorensen P W, Stacey NE (2004). Brief review of fish pheromones and discussion of their possible uses in the control of non-indigenous teleost fishes. *NZ J. Mar. and Freshw. Res.*, 38: 399-417.
- Sorensen PW, Christensen TA, Stacey NE. (1998). Discrimination of pheromonal cues in fish: emerging parallels with insects. *Curr. Opin. Neurobiol.* 8: 458-467.
- Sorensen, P. W., Scott, A. P and Kihlslinger, R. L. 2000. How common hormonal metabolites functions as relatively specific pheromonal signals in the goldfish. *In Proceedings of the Sixth International Symposium on Reproductive Physiology of Fish*, University of Bergen, Bergen, Norway, 1999. Norberg, B., Kjesbu, O. S., Taranger, G. L., Anderson, E. and Stefansson, S. O., eds., pp. 125-128
- Soto D, Norambuena F (2004) Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large-scale mesurative experiment. *Journal of Applied Ichthyology* 20:493-501
- Stacey, NE. (1991). Hormonal pheromones in fish: status and prospects. In: Scott, AP, Sumpter, JP, Kime DE, Rolfe MS (Edsw). *Proceedings of the fourth International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish*. FishSymp. 91, Sheffield, pp. 177-181.
- Stacey NE, Goetz FW (1982) Role of prostaglandins in fish reproduction. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39: 92-98
- Stearns SC (1992) *The Evolution of Life Histories*. Oxford University Press, Oxford. 249 s.
- Stigebrandt A (2001) FjordEnv—a water quality model for fjords and other inshore waters. Report C40, University of Gothenburg, Sverige. 41 s.
- Sudirman H, Halide H, Jompa J, Zulfikar, Iswahyudin, McKinnon AD (2009) Wild fish associated with tropical sea cage aquaculture in South Sulawesi, Indonesia. *Aquaculture* 286, 233-239
- Tangen S, Fossen I (2012) Interaksjoner mellom kaldtvannskoraller og intensivt oppdrett. Kunnskapsstatus og et første skritt mot en konsekvensanalyse. Rapport. Møreforskning Marin. MA 12-10. 43 s.
- Taranger GL, Carrillo M, Schulz RW, Fontaine P, Zanuy S, Felip A, Weltzien F-A, Dufour S, Karlsen Ø, Norberg B, Andersson E, Hansen T (2010) Control of puberty in farmed fish. *General and Comparative Endocrinology* 165: 483-515
- Taranger m. fl. (2012) Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2012. *Fisken og havet, særnummer 2–2013*. 166 pp.

- Taylor BE, Jamieson G, Carefoot TH (1992) Mussel culture in British Columbia: the influence of salmon farms on growth of *Mytilus edulis*. *Aquaculture* 108: 51-66.
- Thorpe JE (1986) Age at first maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*: Freshwater period influences and conflicts with smolting. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences* 89: Salmonid age at maturity 89: 7-14
- Thorpe JE (1994) Reproductive strategies in Atlantic salmon. *Aquac Fish Manag* 25: 77–87
- Thorsen A, Marshall CT, Kjesbu OS (2006) Comparison of various potential fecundity models for north-east Arctic cod *Gadus morhua*, L. using oocyte diameter as a standardizing factor. *Journal of Fish Biology* 69:1709-1730
- Tocher DR (2010) Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research* 41:717-732
- Tocher DR, Sargent JR (1984) Analyses of lipids and fatty acids in ripe roes of some Northwest European marine fish. *Lipids* 19:492-499
- Troell M, Joyce A, Chopin T, Neori A, Buschmann AH, Fang JG (2009) Ecological engineering in aquaculture-potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297:1-9
- Tuya F, Sanchez-Jerez P, Dempster T, Boyra A, Haroun R (2006) Changes in demersal wild fish aggregations beneath a sea-cage fish farm after the cessation of farming. *Journal of Fish Biology* 69: 682–697
- Tveiten H, Jobling M, Andreassen I (2004) Influence of egg lipids and fatty acids on egg viability, and their utilization during embryonic development of spotted wolf-fish, *Anarhichas minor* Olafsen. *Aquaculture Research* 35:152-161
- Uglem I, Bjørn PA, Dale T, Kerwath S, Økland F, Nilsen R, Aas K, Fleming I, McKinley RS (2008) Movements and spatiotemporal distribution of escaped farmed and local wild Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture Research* 39: 158-170
- Uglem I, Bjørn PA, Sanchez-Jerez P, Økland F (2009) High connectivity of salmon farms revealed by aggregation, residence and repeated movements of wild fish among farms. *Marine Ecology Progress Series*. 384: 251-260
- Valdemarsen T, Bannister RJ, Hansen PK, Holmer M, Ervik A (2012) Biogeochemical malfunctioning in sediments beneath a Norwegian deep-water fish farm. *Environmental Pollution* 170: 15-25.
- van Nes S, Johansen L-H, Gjerde B, Skugor S, Ødegård J (2011) A review of the factual basis of interactions between farmed and wild salmon as it applies to salmon lice. *Nofima report* 34/2011 60 pp.
- Vita R, Marin A, Madrid JA, Jimenez-Brinquis B, Cesar A, Marin-Guirao AL (2004) Effects of wild fishes on waste exportation from a Mediterranean fish farm. *Marine Ecology Progress Series* 277: 253–261
- Vizzini S, Mazzola A (2004) Stable isotope evidence for the environmental impact of a land-based fish farm in the western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* 49:61-70

- Vølstad JH, Korsbrekke K, Nedreaas KH, Nilsen M, Nilsson GN, Pennington M, Subbey S, Wienerroither R (2011) Probability-based surveying using self-sampling to estimate catch and effort in Norway's coastal tourist fishery. *ICES Journal of Marine Science* 68: 1785-1791
- Waagbø R, Berntssen MHG, Danielsen T, Helberg H, Kleppa AL, Berg Lea T, Rosenlund G, Tvenning L, Susirt S, Vikeså V, Breck O. (2013). Feeding Atlantic salmon diets with plant ingredients during the seawater phase – a full-scale net production of marine protein with focus on biological performance, welfare, product quality and safety. *Aquaculture Nutrition* doi: 10.1111/anu.12010
- Wade MG, Van der Kraak G, Gerrits MF, Ballantyne JS (1994) Release and steroidogenic actions of polyunsaturated fatty acids in the goldfish testis. *Biology of Reproduction* 51:131-139
- Wang X, Olsen LM, Reitan KI, Olsen Y (2012) Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions* 2:267-283
- Wassmann P (1990a) Relationship between primary and export production in the boreal coastal zone of the North Atlantic. *Limnology and Oceanography* 35:464-471.
- Wassmann P (1990b) Calculating the load of organic carbon to the aphotic zone in eutrophicated coastal waters. *Marine Pollution Bulletin* 21:183-187.
- Watanabe T, Arakawa T, Kitajima C, Fujita S. (1984) Effect of nutritional quality of broodstock diets on reproduction of red sea bream (*Chrysophrys major*). *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 50: 495-501.
- Weber M, Lott C, Fabricius KE (2006) Sedimentation stress in a scleractinian coral exposed to terrestrial and marine sediments with contrasting physical, organic and geochemical properties. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 336: 18-32.
- Weir LK, Grant JWA (2005) Effects of aquaculture on wild fish populations: a synthesis of data. *Environ. Rev.* 13: 145-168
- Weston DP (1990) Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 61, 233-244.
- Woodhead AD (1960) Nutrition and reproductive capacity in fish. *Proc Nutrition Society, Symposium Proceedings*.
- Worm B, Sommer U (2000) Rapid direct and indirect effects of a single nutrient pulse in a seaweed-epiphyte grazer system. *Marine Ecology Progress Series* 2002: 283-288.
- Yambe, H. and Yamazaki, F. 2000. Urine of ovulated female masu salmon attracts immature male parr treated with methyltestosterone. *J. Fish Biol.*, 57: 1058-1064.
- Yrong-Song C, Malcolm CM, Beverage M (1999) Physical characteristics of commercial pelleted Atlantic salmon feed and considerations of implicates for modeling of waste dispersion through sedimentation. *Aquaculture International* 7: 89 -100.

**Vedlegg 1.** Oppsummering av svar på spørsmål til fiskemottak. Resultatene må betraktes som foreløpige og er primært en forundersøkelse, som bør bekreftes i mer dyptgående intervju med flere mottak, samt andre relevante næringsaktører.

	Rogaland	Hordaland	Møre og romsdal	Sør-Trøndelag	Nord-Trøndelag 1	Nord-Trøndelag 2	Nordland 1	Nordland 2	Troms
<b>1) Oppfattes "pelletsei" som et problem?</b>	Ja, i perioder	Ja, i perioder	Ja	Ja, i perioder	Ja	Tidligere, men ikke nå	Nei	Ja	Ja
<b>2) I så fall - hvor stort?</b>	Middels	Middels	Lite	Lite	Stort	Ikke relevant	Ikke relevant	Stort	Lite
<b>3) Har dere fått klager på pelletssei</b>	Ja	Ja	Leverer ikke "pelletssei"	Ja	Leverer ikke "pelletssei"	Nei	Ikke relevant	Ja	Leverer ikke "pelletssei"
<b>4) Er omfanget endret de siste årene</b>	Redusert	Redusert	Konstant	Redusert	Økt	Redusert	Ikke relevant	Redusert	Vet ikke
<b>5) Hvorfor er evt omfanget endret?</b>	Fiskerne unngår å fiske ved anlegg	Fiskere er blitt flinkere til å behandle fangsten riktig	Oppfordrer fiskere til å ikke fiske ved anlegg	Fiskerne unngår å fiske ved anlegg, eller dumper	Tar ikke i mot slik sei	Fiskerne unngår å fiske ved anlegg	Ikke relevant	Fiskerne unngår å fiske ved anlegg	Vet ikke
<b>6) Kan pelletssei brukes til noe?</b>	Fiskemat	Filet og fiskemat, om om den behandles riktig	Ja om den er behandlet riktig	Ikke svart	Saltet til klippfisk - men fett gult	Saltet til klippfisk	Ikke relevant	Usikker	Saltet til klippfisk
<b><u>Andre kommentarer</u></b>									
<b>Kjennetegn på p-sei</b>	Bløt, Spalting, ved larging	Pelletsei ligner på "loddetorsk"	Bløt, spaltet, mindre holdbar	Bløt, spaltet	Bløt i kjøttet	Bløt	Løs i kjøttet	Feit, sprengt og løs i kjøttet	Bløt
<b>Generelt</b>	Pelletssei kan brukes, men ofte lavere pris	Stubbing bedrer kvaliteten - dvs garn settes maks 2 timer ved anlegg, slipper også krabbefangst.	Fiske fanget på juksa er bedre enn fisk fanget på garn	Fisken blir dårlig om den ligger i press over tid	Stubbing, prøvd men ikke optimalt.	Pelletssei ligner på åtebefengt fisk - dvs fisk som har spist mye sild, lodde etc.	Var et problem for 5+ år siden, ligner åtebefengt fisk		



ISBN 978-82-8296-\*\*\*-\* (trykt)  
ISBN 978-82-8296-\*\*\*-\* (pdf)  
ISSN 1890-579X