



**BELLONA**



**MILJØKONSEKVENSANALYSE:**

**Integrert havbruk  
i Norge**

September 2017

# BELLONA

**Bellona** ble etablert 16. juni 1986, og er en uavhengig, ideell miljøstiftelse som arbeider for å utvikle bærekraftige og karbonnegative løsninger. Vi arbeider for økt økologisk forståelse og vern av natur, miljø og helse. Bellona er engasjert i de viktigste nasjonale og internasjonale miljøspørsmål i verden i dag.

Bellonas visjon: «Vi vil skape det bærekraftige og karbonnegative samfunn».

**Bellona** er etablert i Oslo, Brussel, Murmansk og St.Petersburg.

Av Anders Karlsson-Drangsholt og Solveig van Nes, Bellona

ANDRE BIDRAGSYTERE:

**Akvaplan-NIVA:** Reinhold Fieler

**Havforskningsinstituttet:** Pia K. Hansen

**Møreforskning:** Annelise Chapman, Pierrick Stévant og Céline Rebours

**NIBIO:** Céline Rebours

**Nofima:** Sten Siikavuopio, Atle Mortensen og Roy Robertsen

**NTNU:** Kjell-Inge Reitan

**SINTEF:** Gunvor Øie, Aleksander Handå og Erik Skontorp Hognes

**Troms fylkeskommune:** Stein Arne Rånes

**Veterinærinstituttet:** Brit Tørud og Atle Lillehaug

© 2017 av Miljøstiftelsen Bellona. Alle rettigheter er reservert. Brukere kan laste ned, skrive ut eller kopiere utdrag av innhold fra denne publikasjonen kun for egen og ikke-kommersiell bruk. Deler av arbeidet kan heller ikke reproduseres uten bruk av sitat eller kildehenvisning til Bellona. Kommersiell bruk av denne publikasjonen krever forutgående samtykke fra Bellona

Design: Bellona

Foto forside: Thinkstockphotos

*Ansvar: Bellona bestreber å sikre at informasjonen beskrevet i denne rapporten er korrekt og fri for opphavsrett, men garanterer ikke og påtar seg ikke noe juridisk ansvar for nøyaktigheten, fullstendigheten, talkning eller nytten av informasjon som kan følge bruken av denne rapporten.*

# KUNNSKAPSBEHOV FOR FORVALTNING AV IMTA

Integrert multitrofisk akvakultur (IMTA, eller bare integrert havbruk) innebærer samdyrking av flere arter fra ulike nivå i næringskjeden (flere trofiske nivå). Dagens akvakultur i Norge består i hovedsak av monokultur med fôret fisk. Et balansert integrert system fungerer mer som et naturlig økosystem der overskuddsnæring fra for eksempel fôret laks fungerer som naturlig gjødsel eller mat for artene lenger ned i næringskjeden (lavtrofiske arter), for eksempel blåskjell, tang og tare (makroalger), kråkeboller eller sjøpølser. Kompleksiteten i IMTA-anlegget vil avhenge av hvor mange forskjellige arter som dyrkes.

De *potensielle* miljøgevinstene ved å dyrke lavtrofiske arter i sammenheng med produksjon av fôret fisk i integrerte havbrukssystem er mange. For norsk akvakulturnæring vil innføring av IMTA kunne innebære redusert miljøpåvirkning og samtidig økt ressurseffektivitet og økt biomasseproduksjon uten tilsetning av mer energi i form av fôr. I et større perspektiv vil økt dyrkning av marin biomasse i form av makroalger kunne ha en positiv klimaeffekt. Makroalger fanger karbon når de vokser og økt produksjon vil kunne gi mer klimavennlig biomasse til mat, fôrråvarer og fornybar energi.

Slik lovverket for havbruk er bygd opp i dag, er det ikke et eget regelverk for integrert havbruk. All form for havbruksaktivitet faller under akvakulturloven. Videre faller tillatelser for produksjon av laks, ørret og regnbueørret under *Laksetildelingsforskriften*, mens andre fiskearter, bløtdyr, krepsdyr og pigghuder faller under *Tildelingsforskriften for andre arter*. Algedyrking omfattes altså også av akvakulturloven, men har ingen egen tildelingsforskrift. Søknader for dyrking av makroalger behandles per i dag separat i Nærings- og Fiskeridepartementet. Basert på «skjønsmessig» vurdering gis tillatelser i de tilfeller det er sannsynlig at algedyrkingen er *miljømessig forsvarlig*. Ved oppstart av et IMTA-anlegg med laks, blåskjell og tare må søker gjennom tre separate søknadsprosesser. Ettersom mulighetsrommet ved overgang fra dagens monokultur til kommersiell skala integrert havbruk er stort, og har store potensielle miljøfordeler, er en slik utvikling ønskelig. Det er samtidig helt avgjørende at forvaltningen av integrert havbruk baseres på kunnskap for å sikre at en slik utvikling skjer innenfor miljøets bæreevne.

Bellona har derfor initiert et utredningsarbeid og invitert de relevante fagmiljø i Norge til å bidra i utformingen av et kunnskapsgrunnlag om mulige effekter av kommersiell skala integrert havbruk.

Utredningen er utformet som en teoretisk miljøkonsekvensanalyse der man evaluerer positive og negative effekter på havmiljøet som må ivaretas i et regelverk og som et godt grunnlag for beslutningstagerer. Et slikt faglig grunnlag vil både bidra til en mer miljømessig forsvarlig beslutning samt en raskere saksgang. Videre vil en slik kartlegging kunne ha avgjørende betydning for å stimulere til mer bærekraftig havbruk internasjonalt.

Utredningsarbeidet er betalt av Nærings- og Fiskeridepartementet og Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond.

## SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER

Det er fortsatt knyttet stor grad av usikkerhet til noen av miljøeffektene ved IMTA sammenlignet med konvensjonell fiskeoppdrett. Mye av dette er knyttet til mangel på kunnskap fra reelle anlegg i kommersiell skala, siden det ikke er gitt at pilotskala kan skaleres direkte opp og ha tilsvarende resultater. Opptak av en stor del av næringsutslippet fra fiskeoppdrett vil kreve store arealer på grunn av de store biomassene som er nødvendig. Her vil det antagelig skje teknologiutvikling og intensivering av produksjonen, men biomassene og da arealet som kreves for opptak av betydelige mengder avfall vil uansett bli store.

Av de forskjellige artsgruppene som vurderes for bruk i IMTA er det makroalger som forventes å kunne ha den største reduserende effekten på utslipp av næringsstoffer fra fiskeoppdrett. De tar opp de løste næringsstoffene, som utgjør omtrent halvparten av næringsutslippet. Disse er det ingen andre artsgrupper som kan nyttiggjøre seg av direkte. Det finnes heller ingen teknologiske løsninger som kan fjerne problemet siden filtrering, sedimentering e.l. ikke vil ha effekt på de løste næringsstoffene. Produksjonen er også lett oppskalérbar sammenlignet med de andre artsgruppene siden makroalgene ikke må dyrkes integrert med fisken for å ha en positiv miljøeffekt, selv om integrert produksjon er mest effektivt.

Det gjenstår enda en god del utvikling av teknologiske løsninger for at dyrking av filtrerende arter (skjell) og bunndyr som sjøpølser, børstemark, krepsdyr og kråkeboller skal kunne dyrkes integrert nok til å ha en betydelig reduserende effekt på utslippene fra fiskeoppdrett. Hovedutfordringene med skjell er knyttet til løsninger rundt plassering av skjellene slik at en stor nok biomasse med skjell kommer i kontakt med avfallet fra fisken over lang nok tid til å sikre et betydelig opptak av utslipp. Hovedutfordringene for oppdrett av bunndyr i IMTA er usikkerhet rundt dyrkingsløsninger og -teknologi. Det er også usikkert hvor mye de vil klare å absorbere av utslipp under norske forhold og hvorvidt de vil ha behov for tilleggsfôr.

Mange positive og negative effekter av IMTA vil være lokalitetsspesifikke. Både miljøfaktorer og valg knyttet til arter og teknologi vil spille en rolle. Det er allikevel mulig å komme med noen generelle anbefalinger:

1. Arter som benyttes i IMTA må redusere miljøpåvirkningen fra fiskeoppdrett mer enn de selv påvirker miljøet negativt.
2. Funksjonen til naturlige økosystemer må opprettholdes, spesielt med tanke på fremtidig økning i produksjonsvolum. Slik situasjonen er i dag vil overgang fra konvensjonell fiskeoppdrett til IMTA ikke fjerne all miljøbelastning. Det er derfor viktig at man tar høyde for dette ved fremtidig produksjonsvekst gjennom IMTA-systemer og holder veksten innenfor miljøets rammebetingelser.
3. Det er viktig å ha en forebyggende holdning til helse, sykdom og velferd hos produksjonsorganismene.
  - Lokal produksjon av naturlig hjemmehørende arter og stammer for å unngå smittespredning og genetisk forurensing.
  - Tilstrekkelig avstand (smittebarriere) mellom produksjonsenheter.
  - Koordinert og effektiv brakklegging.
  - Meget begrenset bruk av legemidler og annen kjemisk behandling.
  - Tilpasning av biomasse til lokalitetens og områdets bæreevne.
4. Der IMTA-arter skal brukes til humant konsum bør anlegg legges i tilstrekkelig avstand fra kloakkutslipp og andre forurensningskilder.
5. Utstyr og installasjoner må være tilpasset bruk.
  - Nye, spesifikke krav til IMTA utstyr dersom de nåværende ikke er dekkende; oppdatere NYTEK-forskriften tilsvarende.
6. Arealbruk og regelverk for IMTA må prioriteres som en del av en helhetlig kystsoneforvaltning som også tar hensyn til andre brukere av kystsonen.
7. Valg av IMTA-arter og kompleksitet må tilpasses lokaliteten.
  - De forskjellige artenes nytte i IMTA vil være sterkt lokalitetsavhengig.

I arbeidet med utredningen har det også kommet fram at det er en del kunnskapshull knyttet til IMTA og dyrking av lavtrofiske arter i kommersiell skala. Vi har delt disse inn i viktige og mindre viktige for å kunne realisere IMTA i kommersiell skala i Norge samt forhindre utilsiktede miljøeffekter.

Kunnskapshull som MÅ adresseres:

- Produksjonsbetingelser, dyrkingsteknologi og opptakseffektivitet i IMTA til lavtrofiske arter for norske forhold.
- Kartlegging av smittespredning mellom arter under reelle forhold.
  - Mange mulige smitteveier og interaksjoner. Det finnes noe data på interaksjon mellom skjell og fisk, men funnene spriker og sier lite om reell fare for spredning.
- Mattrygghet i IMTA.
  - Sirkulering av næringsstoffer kan skape utfordringer med for eksempel opphopning av miljøgifter.
  - Effekter av legemidler og kjemikalier på IMTA-arter utenfor behandlingsmålgruppen.
- Egnethet av lokalitetstyper til driftsformer og artskombinasjoner.
- Effekter av forskjellige IMTA-systemer på fysisk/kjemisk vannkvalitet, strømforhold, ville arter og naturlige økosystem.

Kunnskapshull som BØR adresseres:

- Optimaliseringsbetingelser for forskjellige IMTA-system basert på artssammensetning og driftsform.
- Marked for IMTA produkter.
  - Nye arter gir nye produkter. Produkter fra IMTA kan også tenkes å få et eget marked med høyere betalingsvilje enn konvensjonell oppdrett.
- Livssyklusanalyse av klimaavtrykk for biodrivstoff fra makroalger.
  - Biodrivstoff kan bli et viktig sluttprodukt for storskala tare dyrking og det er viktig å igangsette dette så raskt som mulig for å påse at klimaeffektene er som forventet.
- Genetisk diversitet og populasjonsstruktur hos aktuelle IMTA-arter.
  - Her finnes det svært lite sikker kunnskap for de fleste artene som er aktuelle, med potensielt store effekter av genetisk spredning fra oppdrett.

# INNHOOLD

|   |           |
|---|-----------|
| <b>KUNNSKAPSBEHOV FOR FORVALTNING AV IMTA</b> .....       | <b>3</b>  |
| <b>SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER</b> .....                   | <b>4</b>  |
| <b>INNHOOLD</b> .....                                     | <b>7</b>  |
| <b>INNLEDNING</b> .....                                   | <b>10</b> |
| NORSK AKVAKULTUR.....                                     | 10        |
| NÆRINGSSTOFFER FRA OPPDRETT AV LAKS OG ØRRET .....        | 11        |
| PARTIKULÆRE ORGANISKE NÆRINGSSTOFFER.....                 | 11        |
| LØSTE ORGANISKE NÆRINGSSTOFFER .....                      | 11        |
| LØSTE UORGANISKE NÆRINGSSTOFFER .....                     | 12        |
| NÆRINGSUTSLIPP TIL MILJØET.....                           | 12        |
| ORGANISK UTSLIPP: MILJØOVERVÅKING.....                    | 12        |
| LØSTE UORGANISKE NÆRINGSSTOFFER .....                     | 13        |
| INTEGRERT MULTITROFISK AKVAKULTUR (IMTA).....             | 14        |
| KOMPONENTER I IMTA .....                                  | 15        |
| ARTER SOM FØRES .....                                     | 15        |
| EKSTRAHERENDE ARTER .....                                 | 16        |
| ARTER SOM TAR OPP ORGANISKE PARTIKLER.....                | 16        |
| ARTER SOM TAR OPP UORGANISKE (LØSTE) NÆRINGSSTOFFER ..... | 17        |
| VALG AV EGNED E ARTER FOR IMTA-SYSTEMER.....              | 17        |
| NÆRINGSBELASTNING I IMTA .....                            | 17        |
| AVGRENSING AV UTREDNINGEN .....                           | 19        |
| <b>TEORETISKE MILJØGEVINSTER VED IMTA</b> .....           | <b>20</b> |
| ØKT RESSURSNYTTTELSE.....                                 | 20        |
| FORBEDRET VANNKVALITET OG RENERE HAV .....                | 21        |
| HABITATFORBEDRING FOR VILLE BESTANDER .....               | 21        |
| KLIMAVENNLIGE FØRRÅVARER FRA LAVERE TROFISKE NIVÅ .....   | 21        |
| ØKT MATPRODUKSJON UTEN MER FØR.....                       | 22        |
| FORNYBARE RÅVARER TIL BIOENERGI.....                      | 22        |
| <b>INTERAKSJONS- OG SAMLEEFFEKTER I IMTA</b> .....        | <b>23</b> |
| BUNNMILJØ.....  | 23        |
| VILLE FISKEBESTANDER.....                                 | 24        |
| UPWELLING .....   | 25        |
| SESONG- OG DØGNVARIASJON .....                            | 26        |
| FYSISKE INSTALLASJONSSTRUKTURER .....                     | 27        |
| BIOMASSERELASJON MELLOM FISK OG ANDRE ARTER .....         | 28        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>MAKROALGER .....</b>                                       | <b>31</b> |
| OPPTAK AV UORGANISKE NÆRINGSSTOFFER.....                      | 31        |
| NÆRINGSONKURRANSE MED PLANTEPLANKTON .....                    | 33        |
| EROSJON OG BUNNPÅVIRKNING .....                               | 33        |
| OPPTAK OG LAGRING AV CO <sub>2</sub> .....                    | 34        |
| SKYGGELEGGING.....  | 34        |
| <b>FILTRERENDE ARTER.....</b>                                 | <b>35</b> |
| SKJELL .....  | 35        |
| OPPTAK AV SMÅ ORGANISKE PARTIKLER .....                       | 35        |
| INTERAKSJON MED PLANKTON .....                                | 37        |
| AVFALL OG UTSLIPP .....                                       | 38        |
| FRAFALL AV SKJELL.....  | 39        |
| CO <sub>2</sub> -OPPTAK OG LAGRING.....                       | 39        |
| TUNIKATER.....  | 39        |
| <b>BUNNDYR.....</b>   | <b>40</b> |
| BENTISK PÅVIRKNING .....                                      | 40        |
| OPPTAK OG OMSETNING AV ORGANISK MATERIALE.....                | 41        |
| DYRKINGSTEKNOLOGI .....                                       | 43        |
| HØSTING AV BUNNLEVENDE ORGANISMER .....                       | 43        |
| PELAGISK PÅVIRKNING .....                                     | 43        |
| <b>SMITTE, MATTRYGGHET OG DYREVELFERD.....</b>                | <b>44</b> |
| INFEKSJONSSYKDOMMER OG ARTSSPESIFISITET.....                  | 44        |
| SMITTEVEIER, AGENS OG RESERVOAR.....                          | 45        |
| MAKROALGER.....   | 45        |
| SKJELL.....   | 45        |
| BUNNDYR.....  | 48        |
| MARKEDSRESTRIKSJONER.....                                     | 48        |
| EFFEKT AV ØKT BIOMASSE PÅ VANNKVALITET OG VELFERD .....       | 48        |
| ØKT BIOSIKKERHET, REDUSERT RISIKO OG FOREBYGGENDE TILTAK..... | 49        |
| BRAKKLEGGING.....   | 49        |
| LEGEMIDLER OG FREMMEDSTOFFER.....                             | 50        |
| AKTUELLE LEGEMIDLER .....                                     | 50        |
| EFFEKTER PÅ LAVERE TROFISK NIVÅ I IMTA.....                   | 51        |
| MATTRYGGHET FOR HUMANT KONSUM OG DYREVELFERD .....            | 52        |
| MARINE PATTEDYR OG FUGLER.....                                | 54        |
| <b>GENETISK PÅVIRKNING PÅ VILLE POPULASJONER .....</b>        | <b>55</b> |
| GENERELT.....   | 55        |
| MAKROALGER.....   | 57        |
| SKJELL (BLÅSKJELL) .....                                      | 57        |



|   |           |
|---|-----------|
| KRÅKEBOLLER.....  | 58        |
| SJØPØLSER.....  | 58        |
| KREPSDYR .....  | 58        |
| FLERBØRSTEMARK.....   | 59        |
| <b>AREAL.....</b>   | <b>60</b> |
| FELLES BRUK AV SJØAREAL.....                                  | 60        |
| BRUK AV SJØAREAL TIL OPPDRETT AV LAVTROFISKE ARTER I DAG..... | 60        |
| AREALEFFEKTIVISERING .....                                    | 63        |
| SAMLOKALISERING .....   | 63        |
| UPWELLING.....  | 64        |
| <b>REFERANSER.....</b>  | <b>65</b> |

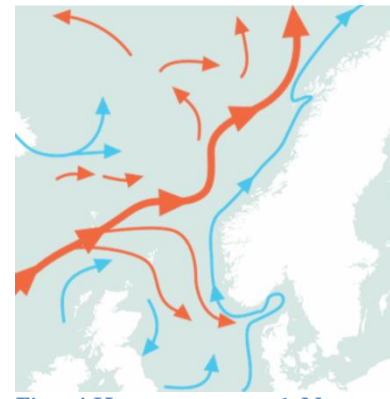
# INNLEDNING

## NORSK AKVAKULTUR

Norsk havbruk har vokst betydelig de siste 25 årene, fra 0,15 millioner tonn produsert i 1990 til over 1,3 millioner tonn laks og regnbueørret i 2015 (1). Til tross for at oppdrettet fisk produsert i sjø er en av de mest energi- og ressurseffektive formene for matproduksjon, innebærer dagens åpne merdteknologi med fôret fisk at det tilføres betydelige mengder næringsstoffer til miljøet. 3–5 % av fôret slippes ut i havet som fôrspill (2,3) og oppdrettslaksen gjødsler også havet med organiske partikler og uorganiske næringsstoffer gjennom fekalier og andre metabolitter. Estimert basert på norsk produksjon av laks viser at utslippene korrelerer godt med fôrsammensetning. For fosfor (P) og nitrogen (N) tilsvarer dette henholdsvis 70 % og 62 % av fôrets innhold (4). Basert på dette estimatet, et fôrforbruk til produksjon av laks og ørret i Norge på 1,67 millioner tonn i 2015 (1) og forutsatt at fôrsammensetningen er relativt uendret vil de totale utslippene av nitrogen og fosfor fra oppdrett av laks og ørret i Norge tilsvare henholdsvis 67 720 tonn nitrogen og 12 482 tonn fosfor. Dette er store mengder utnyttede ressurser som det vil være en stor fordel å klare å ta i bruk.

Miljøtilstand under og rundt norske oppdrettsanlegg:

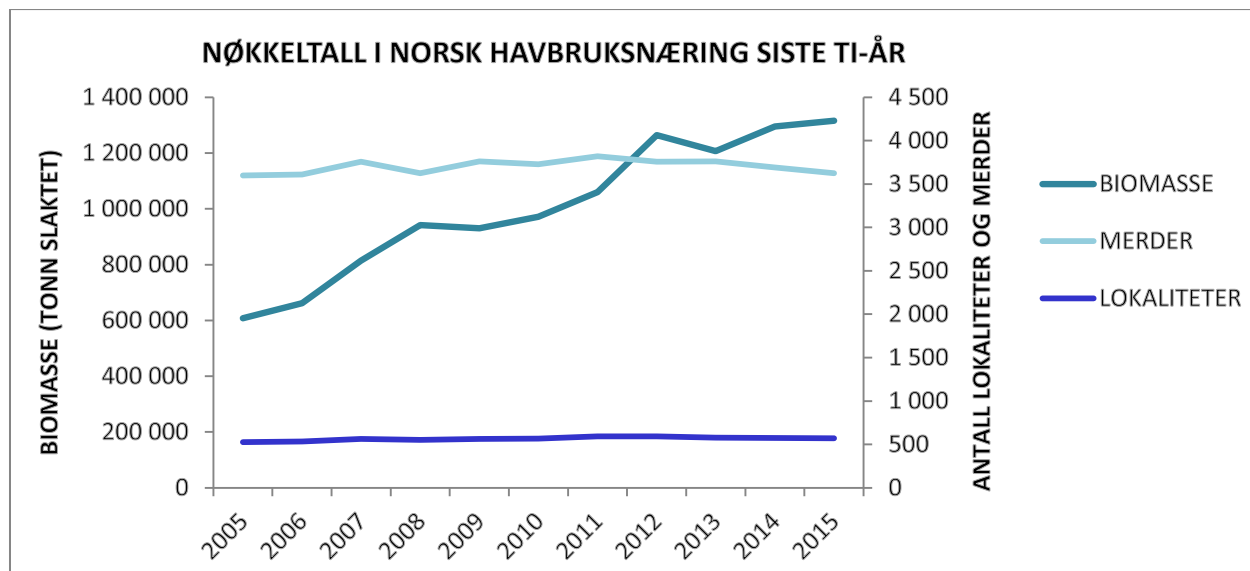
- Gode naturgitte miljøforhold for matproduksjon i hav.
- Miljøovervåkning på alle lokaliteter.
- Miljøtilstand god basert på målinger av næringssalter og organisk materiale. Full åpenhet: [www.fiskeridir.no](http://www.fiskeridir.no)
- Havforskningsinstituttet og ekspertgruppe: Næringssalter er ikke et problem i det store bildet med dagens produksjonsnivå.
- En ressurs som kan nyttes i IMTA og CO<sub>2</sub>-fangst?



Figur 1 Havstrømmer rundt Norge

Organiske og uorganiske næringsutslipp er *biologiske* avfallsprodukter (eller biprodukter) fra havbruk, og utgjør ikke giftige substanser i seg selv. Sedimentering av organisk avfall fra fiskeoppdrett kan derimot ha negativ påvirkning på havbunn rundt eller under havbruksanlegg, og kan endre den bentiske artssammensetningen. Videre kan for høye nivåer av løste organiske og uorganiske næringsstoffer også lede til eutrofiering og mulige negative effekter på økosystem. Om det blir negative effekter, og størrelsen på disse, avgjøres av en kombinasjon av lokale hydrodynamiske forhold (fortynning) og økosystemets assimileringskapasitet. Vanligvis vil økt primærproduksjon som følge av økt tilgang på næringsstoffer bufres av næringsnett, men dersom nivåene overstiger næringsnettets assimileringskapasitet, kan økosystemet komme i ubalanse (5–7).

Fosfat ligger an til å bli et grunnstoff med meget begrenset global tilgang i de nærmeste årene. Utslipp av mer enn 12 000 tonn fosfor fra norsk fiskeoppdrett årlig representerer da en stor tapt fosforkilde, som vil kunne være et attraktivt råstoff for andre næringer. Resirkulering av noe av dette vil kunne redusere etterspørselen etter andre fosforprodukter.



Figur 2 Biomasse av laks og regnbueørret produsert i Norge har økt jevnt de siste ti årene, samtidig som antall lokaliteter og merder har vært relativt jevnt. Biomasse; Slaktet laks og regnbueørret oppgitt i tonn rundvekt, eksklusiv fisk som er flyttet eller solgt levende. Data: Fiskeridirektoratet.

## NÆRINGSSTOFFER FRA OPPDRETT AV LAKS OG ØRRET

### PARTIKULÆRE ORGANISKE NÆRINGSSTOFFER

Partikulære organiske næringsstoffer er partikler med forbindelser av nitrogen, fosfor og karbon (C), henholdsvis PON, POP og POC, som kommer fra fôrspill og fekalier. Store partikler synker raskt til bunns rett under eller i nærheten av anlegget/merdene. Små partikler synker saktere og mindre vertikalt enn store partikler. De transporteres lengre horisontalt fra anlegget siden de fraktes lengre med vannstrømmen. Store partikler utgjør derfor hovedsakelig næring for organismer som spiser sediment (detritusetere/sedimentetere), ville fiskearter og åtseletere (krepssdyr), mens små partikler hovedsakelig vil kunne tas opp av filtrende dyr i IMTA-system (8–13).

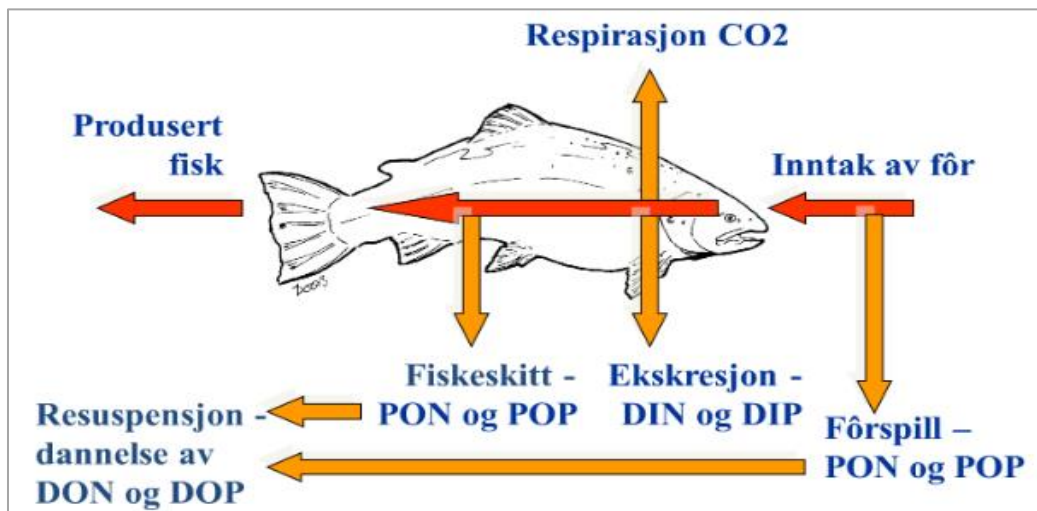
### LØSTE ORGANISKE NÆRINGSSTOFFER

Løste organiske næringsstoffer er molekyler som løser seg i vann og som inneholder nitrogen eller fosfor, henholdsvis DON og DOP, og som primært oppstår av lekkasjer fra fekalier og fôrspill. DON og DOP utgjør en mindre andel av utslippene. Stoffene er også stabile med

generelt lang omsetningstid og er derfor ikke avgjørende for miljøforholdene i havet (14). Løste organiske stoffer som stammer fra fôret er sannsynligvis lett utnyttbare for bakteriene i vannet.

## LØSTE UORGANISKE NÆRINGSSTOFFER

Løste uorganiske næringsstoffer er molekyler som løses i vann og kalles også næringsalter (eks. ammonium  $[NH_4^+]$  og fosfat  $[PO_4^{3-}]$ ). Disse dannes gjennom fiskens metabolisme og skilles ut via gjeller og nyrer (respirasjon og ekskresjon). Næringsaltene (DIN, DIP og DIC for henholdsvis nitrogen, fosfor og karbon) spres med strømmen og fortynnes raskt. Løste uorganiske næringsstoffer tas opp i planteplankton, makroalger og bakterier (10).



Figur 3 Mekanismer for utskillelse av ulike typer næringskomponenter fra fôret laks. Fra Fredriksen m.fl. 2011 (14)

## NÆRINGSUTSLIPP TIL MILJØET

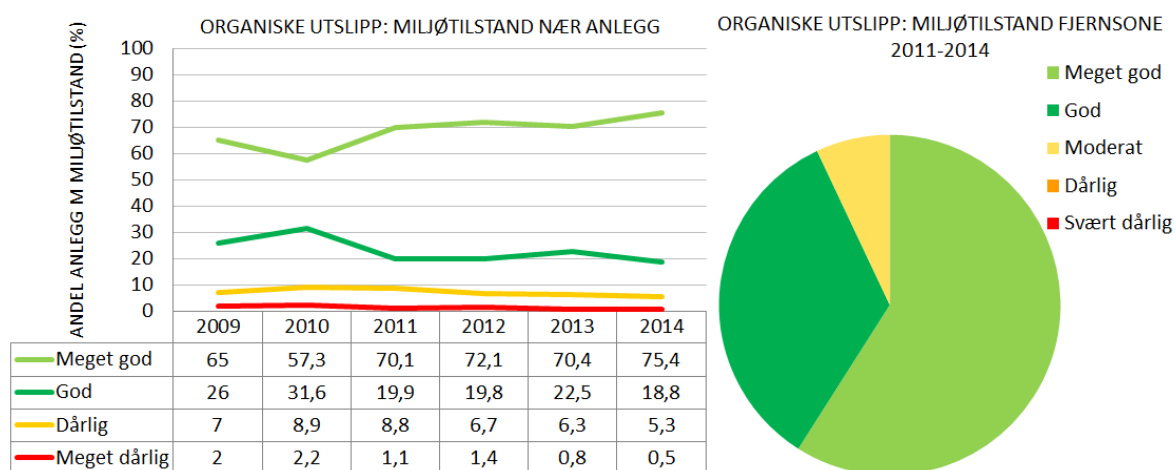
### ORGANISK UTSLIPP: MILJØOVERVÅKING

Fra ca 1000 undersøkelser av lokale effekter av organisk avfall rundt eller under havbruksanlegg, var miljøtilstanden god eller meget god i 94 % av tilfellene i 2014 (15). Videre regnes risiko for eutrofiering og organisk belastning utenfor produksjonsområdene som lav (7). Likevel utgjør næringsutslippene store tapte ressurser som kan utnyttes. En økning i produksjonsvolum vil kunne ha fremtidige negative effekter dersom produksjonsform fortsetter uendret.

Miljøtilstanden i nærområdet rundt anleggene (MOM-B undersøkelse) var *Meget god* eller *God* ved 90 % av anleggene i 2009 – 2011, med en svak økning i disse klassene frem til 94 % i 2014. Tilsvarende har andel anlegg i tilstandsklasser *Dårlig* og *Meget dårlig* blitt noe redusert, og i 2014 hadde <1 % av anleggene tilstand *Meget Dårlig*. Nedgangen gjenspeiler muligens flytting fra strømsvake til mer strømsterke lokaliteter.

Miljøtilstanden i fjernsonen (MOM-C) var *Meget god* eller *God* ved 94 % av anleggene i perioden 2011 – 2014, mens 6 % av de undersøkte anleggene var Moderat. Ingen av de undersøkte anleggene hadde *Dårlig* eller *Svært dårlig* tilstandsklasse av totalt 174 oppdrettsanlegg målt (15).

Resultatene samsvarer med undersøkelser som viser at næringsutslipp på strømsvake lokaliteter konsentreres til anleggsområdet, mens fjernsonen er lite påvirket. Motsatt vil næringsutslippet fra anlegg på strømsterke lokaliteter bli spredd til et større område som får en moderat påvirkning (15,16).



Figur 4 Miljøtilstand målt ved overvåking av bunnforhold nær anlegg 2009-2014 (MOM-B, venstre) og fjernsone (Shannon-Wiener diversitetsindeks, MOM-C, høyre). Figuren viser hvor stor prosentandel av de undersøkte anleggene som er i de ulike tilstandsklassene. For nærsone gjelder: Meget god - lite påvirkning, God - middels påvirkning og Dårlig - høyest tillatte påvirkning. Tilstand Meget dårlig angir overbelastning. For fjernsone gjelder 5 ulike tilstandsklasser. Basert på data fra Fiskeridirektoratet, Havforskningsinstituttet 2014 og 2015.

## LØSTE UORGANISKE NÆRINGSSTOFFER

Effekter av utslipp av næringssalter vil avhenge av sjøareal, oppholdstid og grad av innblanding av andre vannmasser (vannsirkulasjon) (16). Basert på kunnskap om vanntransport og typiske nitrogen- og fosforverdier målt i kyststrømmen kan næringssaltutslippene fra fiskeoppdrett på strekningen Lista til Leka ved Helgelandskysten beregnes til om lag 1 – 1,5 % av den naturlige konsentrasjonen i kyststrømmen. Det beregnede bidraget fra fiskeoppdrett avtar nordover til 0,6 % i Finnmark. Utslipp av næringssalter fra oppdrett langs norskekysten vurderes derfor å ha ubetydelig innvirkning på næringssaltverdien i kystvannet (16).

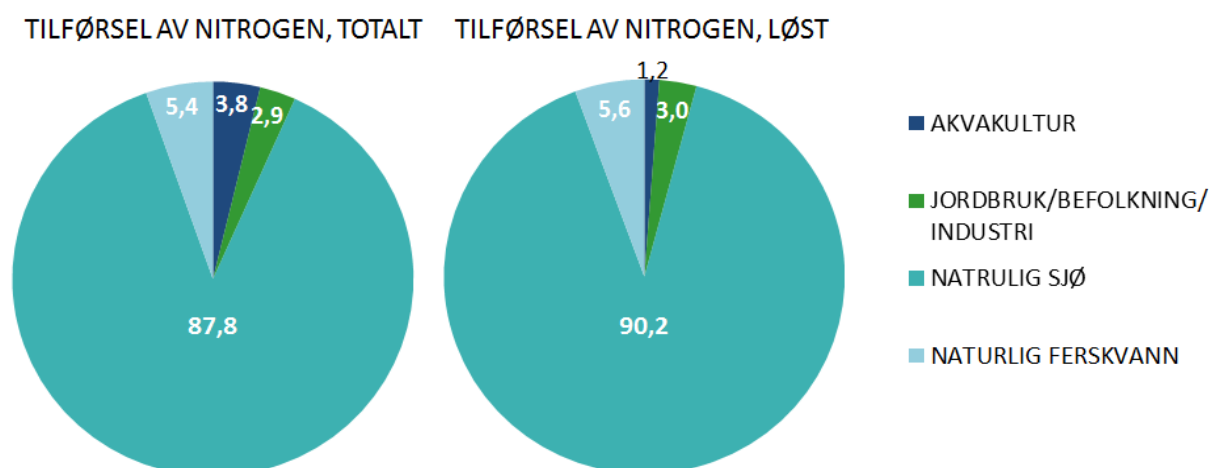
For å illustrere bidraget av næringssalter fra akvakultur sett i sammenheng med totale tilførsler av nitrogen i et fjordsystem, er det gjort estimat med Hardangerfjorden som har en av de største tetthetene av fiskeoppdrettsanlegg i Norge (16). Basert på estimat fra TEOTIL modellen (9) tilfører norsk akvakultur de største menneskeskapt utslippene av nitrogen og fosfor (til norskekysten) fra nord for Agder og Hordaland. Mengden tilført fra akvakultur er likevel relativt små i forhold til tilførsel fra naturlige kilder som havstrømmene og migrerende villfisk (7,15).

**Tabell 7.3**

Fylkesvis produksjon av laksefisk (laks, ørret og regnbueørret) og beregnede utslipp av løste næringssalter fra matfiskanlegg i 2012. Beregningene er basert på Ancylius-modellen (data fra Fiskeridirektoratet).

| Fylke            | Produksjon laks og ørret 2012 | Nitrogen (tonn/år) (Løst) | Fosfor(tonn/år) (Løst) |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Rogaland         | 82 747                        | 852                       | 141                    |
| Hordaland        | 241 110                       | 2483                      | 410                    |
| Sogn og Fjordane | 112 386                       | 1157                      | 191                    |
| Møre og Romsdal  | 129 870                       | 1333                      | 221                    |
| Sør-Trøndelag    | 141 317                       | 1456                      | 240                    |
| Nord-Trøndelag   | 121 526                       | 1252                      | 207                    |
| Nordland         | 233 099                       | 2401                      | 396                    |
| Troms            | 143 800                       | 1481                      | 244                    |
| Finnmark         | 86 809                        | 894                       | 148                    |
| <b>Totalt</b>    | <b>1 306 763</b>              | <b>13 309</b>             | <b>2198</b>            |
| Finnmark         | 86 809                        | 894                       | 148                    |
| <b>Totalt</b>    | <b>1 306 763</b>              | <b>13 309</b>             | <b>2198</b>            |

Figur 5 Fra Husa m.fl. 2014. Utslipp av næringssalter fra matfiskanlegg. I Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2013, HI.



Figur 6 Prosentvise bidrag fra ulike kilder til de totale tilførselene av nitrogen til Hardangerfjorden. Venstre; Utslipp fra akvakultur regnet som totale utslipp av nitrogen, dvs., summen av utslipp fra partikulært (fekalier og fôrspill) samt fra fiskens metabolisme (løst). Høyre; Utslipp av løst nitrogen fra akvakultur. Basert på Fjordmiljømodellen og forutsatt produksjonsvolum i 2011 tilsvarende 60 000 tonn i Hardangerfjorden. Data fra: Husa m.fl., 2014. Utslipp av partikulære og løste stoffer fra matfiskanlegg. I Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2013, HI

## INTEGRERT MULTITROFISK AKVAKULTUR (IMTA)

I den vestlige verden utgjør havbruk hovedsakelig oppdrett av fisk høyt opp i næringskjeden som krever tilsetning av formulert fôr. Globalt utgjør fôret fisk bare 11 % av den totale marine sjømatproduksjonen. Lavtrofiske arter som makroalger og skjell utgjør mesteparten, til sammen 80 % av den totale marine akvakulturproduksjonen (14, Figur 7). Alger, filtrerende skjell og bunndyr krever ikke tilsatt fôr, men er ekstraktive arter som tar opp overskuddsnæring fra havmiljøet. Samdyrking av slike lavtrofiske arter i integrerte system med høyere trofiske førede

arter har potensiale til økt ressurseffektivisering og utbytte, samt redusert miljøbelastning sammenlignet dagens monokulturpraksis (18–20). Det er derfor økt fokus på integrert havbruk som en mulig metode for å oppnå en betydelig økt marin biomasseproduksjon uten en tilsvarende økning i miljøbelastning også i Norge.



Figur 7 Relativ fordeling av oppdrettsorganismer i 2012 globalt og i Norge. Makroalger og skjell er ekstraktive arter, i motsetning til fisk og krepsdyr som er avhengige av tilsatt fôr. Annen fisk: torsk, røye og kveite. Inkluderer fangstbasert akvakultur

## KOMPONENTER I IMTA

Integrert multitrofisk akvakultur innebærer samkultivering av arter fra ulike trofisk nivå hvor avfall i form av overskuddsnæring fra art(er) på høyere nivå i næringskjeden (fôrspill, fekalier og metabolitter) resirkuleres og blir utnyttet som ressurs (mat, energi, naturlig gjødsel) til den eller de andre artene lenger ned i næringskjeden.

Teoretisk innebærer dette økt ressursutnyttelse, resirkulering av næringsstoffer, økt utbytte, økt vannkvalitet og totalt sett en redusert miljøbelastning fra utslipp fra oppdrett (20,21). Utover miljøgevinsten åpner IMTA for ny biologisk produksjon (andre kommersielle arter) langs kysten uten tilsetning av mer fôr. Disse kan igjen benyttes til ulike typer sluttprodukt (mat, fôringredienser, bioenergi). Samlet sett vil IMTA derfor kunne bidra til økt lønnsomhet og til å løse miljø- og bærekraftutfordringer. Norge har lang kystlinje med god vannkvalitet, lang tradisjon for å høste fra havet og er internasjonalt ledende innen marine operasjoner og lakseoppdrett. Forutsetningene for å kommersialisere IMTA er derfor meget gode. Typiske komponenter i et IMTA-system er en fôret art (eks. fisk) kombinert med en egnet andel organismer som ekstraherer organisk (eks skjell) samt uorganisk (eks. alger) materiale.

## ARTER SOM FÔRES

Arter som laks, ørret og torsk må fôres i oppdrettssammenheng. Gjennom produksjon av disse artene tilsettes næringsstoffer til økosystemet. Biprodukter fra produksjon av disse artene, som

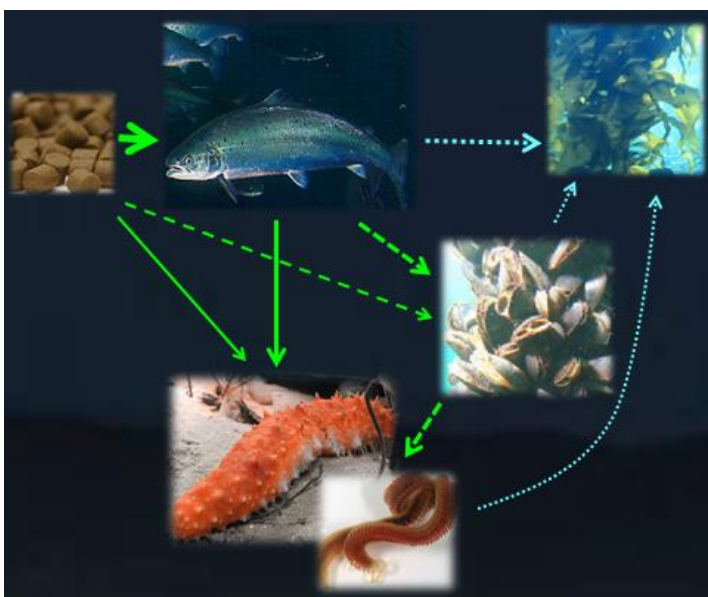
uspist fôr (spillfôr), avføring (fekalier) og metabolitter utgjør høykvalitetsnæring for de andre komponentene/artene i IMTA-systemet samt ville arter som forekommer omkring anlegget.

## EKSTRAHERENDE ARTER

Ettersom både beitende fisk, makroalger, skjell, tunikater og de bunnlevende organismene ekstraherer næringsstoffer fra vannsøylen og sedimentet, omtales de også som *ekstraherende* eller *ekstraktive arter*. En økt andel ekstraktive arter i produksjon vil bidra positivt til miljøet ved å redusere lokale effekter av menneskeskapte punktutslipp som industri, landbruk/jordbruk og kloakk, ikke bare fra havbruk.

## ARTER SOM TAR OPP ORGANISKE PARTIKLER

Denne komponenten inkluderer beitende fisk (plante- og altetende), filtrerende organismer som skjell, beitende pigghuder som kråkeboller, opportunistiske arter som krepsdyr og detritivore organismer (sedimentspisere) som sjøpølser. Beitende fisk spiser normalt makroalger, krepsdyr, bløtdyr eller andre organismer. De kan utnytte spillfôr og fekalier fra de fôrede artene da disse ofte har en mer variert diett og mindre strenge krav til nærings sammensetning i maten. Filtrerende organismer som ulike typer skjell (blåskjell, kamskjell, østers) og sekkedyr (tunikater) livnærer seg på planteplankton og finkornet, partikulært organisk materiale som de filtrerer fra sjøvannet. De kan derfor fungere som et biofilter som ekstraherer/reducerer forekomst av organiske partikler i vannsøylen som stammer fra både fôrede og ufôrede komponenter i IMTA-systemet. Sjøpølser og havlevende leddorm som børstemark, lever i eller på sedimentet og livnærer seg gjennom opptak av organisk partikulært materiale direkte fra sedimentet. Kråkeboller beiter på makroalger og vil kunne nyttiggjøre seg av nedfall fra disse som andre arter ikke kan fordøye. Kråkeboller, sjøpølser, leddormer og krepsdyr resirkulerer store organiske partikler som stammer fra de andre artene i IMTA-systemet og som faller til bunns under eller ved oppdrettsanlegget.



Figur 8: Skjematisk fremstilling av nærings sirkulasjon i et IMTA-system. Store organiske partikler fra fiskens fôr og avføring utnyttes av bunnedyr. Små organiske partikler utnyttes hovedsakelig av filtrerende dyr i IMTA systemet. Deres avfall utnyttes videre av bunnedyrene. Løste uorganiske nærings salter, hovedsakelig fra fiskens metabolisme tas opp av makroalgene. Flere av de ekstraherende artene kan også inngå som råvarer til nytt fiskefôr. Tilpasset fra illustrasjon i: Multitrofisk Akvakultur: Hvor går utviklingen? (138).



## ARTER SOM TAR OPP UORGANISKE (LØSTE) NÆRINGSSTOFFER

Makroalger ekstraherer løste næringsstoffer gjennom at de binder uorganiske nitrogen- og fosforforbindelser. Sånn resirkulerer de viktige næringsalter og omsetter dem til høstbar biomasse. Samtidig reduserer de konsentrasjonene av næringsalter som genereres fra de andre komponentene i det integrerte systemet og fra andre menneskeskapte kilder som industri, landbruk og kloakk.

## VALG AV EGNEDE ARTER FOR IMTA-SYSTEMER

Det er viktig at arter og dyrkingssystem velges på bakgrunn av hvilke økosystemfunksjoner de har, deres økonomiske verdi eller potensial samt deres aksept hos forbruker. Mer spesifikt er kriterier for valg av egnede arter for et IMTA-system beskrevet som følger (20,21):

- Lokale og naturlig forekommende arter.
  - Forebygge innføring av nye arter som kan forårsake skader på økosystemet.
  - Unngå innføring av smittestoff/sykdom.
  - Naturlig tilpasset gitte miljøbetingelser og derav god biologisk produktivitet.
- Arter som er egnet for kultivering/dyrking.
  - Etablert kunnskap for dyrking og reproduksjon foreligger.
  - Teknologi er tilgjengelig.
  - Vokser godt i IMTA-system (god vekst under gitte forutsetninger).
- Arter med ulik økosystemfunksjon.
  - Komplementære roller hos samdyrkede arter. Viktig at de utfyller ulike økologiske nisjer framfor å konkurrere om samme næringskilde.
  - Evne til å bioremediere og slik bidra til økt miljømessig fordel.
- Arter med potensiell økonomisk verdi og etterspørsel.

Videre vil det i et IMTA-system ikke nødvendigvis oppnås optimal biologisk produktivitet for hver enkelt art, men summen av produksjonen med tanke på biomasse, verdi og miljøavtrykk vil kunne være optimal.

## NÆRINGSBELASTNING I IMTA

Bæreevnen til et avgrenset sjøområde for næringstilførsel avgjøres av to hovedmekanismer (5,10):

- 1) Næringsopptak av alger (planteplankton og makroalger) og videreføring av dette til høyere trofiske nivåer
- 2) Fortynning av næringsstoffer som styres av hydrodynamikk på produksjonsanlegget og omkringliggende, nedstrøms vannmasser.

I monokultur vil områdets bæreevne derfor i stor grad avhenge av strømforhold og størrelsen på området. I IMTA kan dette tenkes å bli mer komplisert. Tilstrekkelig strømstyrke på vannet er en forutsetning for transport og spredning av løste, uorganiske næringsstoffer samt partikulært materiale uavhengig av system (Figur 9). I IMTA vil det kunne være en fordel å beholde partiklene og næringsstoffene i nærheten av anlegget siden de ekstraktive artene kan nyttiggjøre

dette til økt vekst. Gitt at de ekstraktive artene er til stede i tilstrekkelig mengde til å ta opp en stor andel av utslippene vil det kunne være en fordel med mindre strøm. Det vil gjøre oppholdstiden rundt de ekstraktive artene lengre og gi et større netto opptak og et lavere netto utslipp. Hvorvidt det vil være mulig å anvende IMTA på strømsvake lokaliteter gjenstår å se, men det blir viktig å være nøye i valg av ekstraktiv art for opptak av partikulært materiale. På strømsvake lokaliteter vil partikulært materiale ikke spre seg langt fra anlegget, men heller konsentreres i området under merdene. Pelagiske, filtrerende arter som blåskjell vil derfor være mindre egnet enn bentiske arter som kråkeboller og sjøpølser.

**Table 15.** Hydrodynamic characteristics and mean excess nitrogen concentrations of the 3 virtual salmon farms studied. Values express the concentration of excess N in the water occupied by the fish cages (hot-spot, one model grid of 160 x 320 m<sup>2</sup>). The situations are representative for farms producing 1000 tonnes per year, which is well below today's production (close to 10,000 tonnes per year), but the results nevertheless demonstrates the options of the method. PON concentration in undisturbed coastal waters is set to 60 mg N l<sup>-1</sup>, which is representative for the region (from Olsen et al 2005, model data are provided by D. Slagstad, SINTEF).

| Fish farm number and location                | Location conditions  | Excess N in farm hotspot, mg N m <sup>-3</sup> (mmol N m <sup>-3</sup> ) | % Excess N of natural PON in farm hotspot, % |
|--|--|--|--|
| 1 - Langøya, outer exposed area              | Strongly exposed, water is efficiently mixed with the open ocean | 0.6 (0.04)   | <1   |
| 2 - Langøysundet, a straight between islands | Tidal driven water exchange, efficiently mixed                   | 6.4 (0.46)   | 11   |
| 3 - Eidsfjorden, a fjord bottom              | Unidirectional, steady water currents, relatively stagnant       | 17.9 (1.3)   | 30   |

Figur 9 Effekt av eksponeringsgrad på nitrogenkonsentrasjon i direkte tilknytning til oppdrettsanlegg. Fra Olsen m.fl. 2008 (10)

## AVGRENSING AV UTREDNINGEN

Teoretiske og estimerte effekter, samt risikobildet knyttet til dette, vil avhenge av størrelsen, artskompleksiteten og biomassen av de forskjellige artene i IMTA-systemet. Vi har valgt å begrense det tenkte IMTA-systemet i miljøkonsekvensutredningen til å omfatte følgende:

- 1) Kompleksitet
  - a. Fôret organisme. Fisk, krepsdyr eller annen art der fôring er nødvendig for å oppnå vekst og som ikke i særlig grad kan nyttiggjøre seg av overskuddsnæring fra de andre artene direkte. Laks er mest aktuelt i norsk sammenheng og vil bli brukt som utgangspunkt.
  - b. Filtrerende art, pelagisk. Skjell eller andre arter som filtrerer ut partikulært organisk materiale som stammer fra den fôrede arten. Plassert hengende fra oppdriftsenheter for å filtrere de pelagiske vannmassene. Blåskjell er mest aktuelt for øyeblikket, men kamskjell og østers kan også bli aktuelle.
  - c. Ekstraherende fotosyntetisk organisme. Makroalger eller andre organismer som driver fotosyntese og kan ta opp løste uorganiske næringsstoffer som stammer fra den fôrede arten og andre arter i systemet. Sukkertare, butare samt spiselige tangarter som søl og havsalat er aktuelle.
  - d. Beitende art, bentisk. Dyr som kan spise partikulært organisk materiale som faller ned til bunnen og som stammer fra én eller flere av de pelagiske komponentene. Bunnlevende krepsdyr (for eksempel hummer, sjøkreps eller taskekrabbe), kråkeboller, børstemark eller sjøpølser kan inngå.
- 2) Størrelse: Produksjonsvolumet varierer mye på kommersielle oppdrettslokaliteter for fisk i Norge. I et eget kapittel vil vi forsøke å beregne produksjonsvolumene av de andre artene i IMTA-systemene tilpasset en lokalitet med henholdsvis liten, middels og stor produksjon av fisk.
- 3) Avstand mellom de forskjellige komponentene: De lavtrofiske oppdrettsstrukturene må stå så nærme fiskemerdene at de blir utsatt for økt innhold av næringsstoffer i form av løste, uorganiske næringssalter (makroalger), eller partikulært materiale (filtrerende dyr og bunndyr).

Videre vil vi fokusere på det som skiller IMTA fra vanlig norsk lakseproduksjon med tanke på miljøpåvirkning. Sammenheng mellom et konvensjonelt lakseanleggs produksjonsvolum, tillatt produksjonsvolum og utslipp/påvirkning finnes det gode estimat på. Tilgjengelig mengde næringsstoffer/utslipp henger sammen med størrelse og volum av fisk samt fôrmengde. Dette varierer mye fra lokalitet til lokalitet. Vi vil konsentrere oss om effekter der IMTA-systemet bidrar til et forandret bilde, enten det er i positiv eller negativ retning for miljøet. I denne utredningen behandles IMTA-system med åpne merder i sjø. Andre driftsformer for IMTA er også mulig, men det behandles ikke her.

## TEORETISKE MILJØGEVINSTER VED IMTA

Dette kapitlet beskriver potensialet som ligger i overgang til IMTA sammenlignet med monokultur. Det er ment som en oppsummering av argumenter for, og tankegang bak, IMTA som konsept anvendt i Norge.

Ved en overgang til integrert multitrofisk havbruk vil en kunne mangedoble produksjon av mat og marin biomasse uten å øke det økologiske fotavtrykket tilsvarende. Miljøgevinsten ved innføring av IMTA består hovedsakelig i økt ressursutnyttelse og økt ressurseffektivisering. Risikovurderinger og overvåking av miljøtilstand viser at utslipp av næringsstoffer med dagens produksjonsnivå ikke gjør irreversibel skade eller utgjør et stort forurensningsproblem i dag. Det er derimot påvist lokale effekter av næringsutslipp fra havbruk (7,15). Videre utgjør næringsutslipp store mengder uutnyttede ressurser. Med en fremtidig mangedobling i produksjonsvolum vil det kunne utgjøre en større utfordring enn det gjør i dag.

Hovedgevinsten ved IMTA som konsept er miljøforbedring ved reduserte utslipp av næringsstoffer på grunn av økt ressursutnyttelse. Dette kan også gi økonomiske gevinster. Den økte ressursutnyttelsen betyr større næringstilgang for de lavtrofiske artene sammenlignet med monokultur av disse, og det kan gi økt produksjon. Økt produksjon alene vil ikke gi noen stor ekstra miljøgevinst. Hvis man derimot sammenligner IMTA som system med dagens norske monokultur av kun laks blir bildet et annet siden flere arter på et lavere trofisk nivå produseres. Det har mange store miljøfordeler.

### ØKT RESSURSUTNYTTELSE

Ved integrert havbruk gjenfanges ellers tapte næringsstoffer fra de(n) førede arten(e) i de ekstraherende artene. Dette fører til redusert utslipp og økt ressursutnyttelse ved at de ekstraherende artene utnytter det som ellers ville vært avfall og bruker dette til vekst som vil gi økt produksjon. Den økte produksjonen av for eksempel skjell og makroalger kan så brukes som mat til mennesker eller utnyttes som råvarer til fiskefôr. På den måten kan næringsstoffene resirkuleres i anlegget og produksjonen vil ligne mer på et lite økosystem (19). Det er urealistisk å se for seg 100 % utnyttelse av de tapte næringsstoffene fra den førede arten innenfor et IMTA-system. Det bør imidlertid være et minstekrav at hver av de ekstraktive artene i systemet bidrar med et opptak som er større enn utslipp fra egen produksjon (22). For partikkelpiserne (både bentiske og vannfiltrerende) tilsvarer dette at netto opptak av partikler må være større enn produksjon av fekalier, rester fra individer som har dødd under produksjonen og avfall som produseres i forbindelse med høsting. For blåskjell må dietten deres bestå av et sted mellom 10 og 20 % fiskefôr og -fekalier før det er en netto reduksjon i bunnpåvirkning som følge av å ta blåskjellene inn i systemet (22). For makroalgene bør opptaket av næringsstoffer være større enn utslippet i form av avrevne plantedeler fra normal slitasje og høsting, og det vil her antagelig være en mye lavere terskel for at makroalger skal være «nyttige» i et IMTA-system.

## FORBEDRET VANNKVALITET OG RENERE HAV

Redusert utslipp av fekalier, fôrrester og løste næringsstoffer vil redusere lokalt næringsoverskudd og bedre den lokale påvirkningen fra fiskeoppdrett, både med tanke på det pelagiske og bentiske miljøet. Den filtrerende effekten til skjell vil fjerne partikler fra vannmassene og øke gjennomsiktighet og lysgjennomtrenging, som igjen vil kunne bidra positivt til vekst av makroalgene. Økt vekst og opptak av næringsstoffer i makroalgene reduserer utslippet av løst nitrogen og fosfor til havet, hvor akvakultur i dag er en av de største menneskeskapte utslippskildene i Norge (9).

## HABITATFORBEDRING FOR VILLE BESTANDER

IMTA-anlegg, og da spesielt blåskjell- og tareanleggene, fungerer som oppholdssted og skjul for naturlig forekommende fauna, inkludert juvenile stadier fra ville fiskebestander som rognkjeks (23). Det kan bidra til å opprettholde biologisk mangfold og kan styrke ville fiskebestander der habitatmangel hindrer bestandsvekst. På dette feltet finnes det generelt lite kunnskap om norske forhold, men det er grunn til å anta at tare dyrkingsanlegg i IMTA vil ha en lignende effekt som naturlig tareskog og sånn sett være oppholdssted for en rekke arter (24). Tare- og skjellanlegg vil også tilby naturlige skjulesteder som kan være med å rekruttere ville fiskearter til opphold i eller rundt anlegget. Avhengig av art vil disse kunne ha positive effekter på parasitter som lakselus (leppefisk og rognkjeks), men de kan også representere en smitterisiko mellom ville og oppdrettede populasjoner som ikke er like utbredt eller sannsynlig i dagens monokultur av laks. Hva som vil skje når biomassen i anlegget høstes og habitatet forsvinner er vanskelig å forutsi siden det vil avhenge av mange andre faktorer. Tapet av habitat kan føre til at de aktuelle organismene ikke klarer seg, eller de kan kanskje kolonisere nye områder etter å ha hatt en «beskyttet» tilværelse rundt anlegget.

## KLIMAVENNLIGE FÔRRÅVARER FRA LAVERE TROFISKE NIVÅ

Fiskefôr til laksefisk og marine arter oppdrettet i Norge er avhengig av fiskemel og -olje (samt planteprotein og -olje) for å skape et fôr som tilfredsstiller fiskenes ernæringsbehov. Fiskemel og -olje er hentet relativt høyt opp i næringskjeden. Ved å hente råvarene til fôret fra et lavere trofisk nivå i havet, fra for eksempel skjell eller makroalger, vil vi oppnå en betydelig ressurseffektivisering siden store deler av næringsstoffene går tapt oppover i næringskjeden. Blåskjellmel kan inkluderes i stor grad i fiskefôr og tare kan ha bruksområder som funksjonell fôrtilsetning eller prosesseres videre. For eksempel vil bioetanol fermentert fra tare ha biprodukter med høyt innhold av høyverdig protein (gjær) og dette kan igjen brukes som råvare i fiske- eller dyrefôr (25). Det vil kunne erstatte langtransporterte fôrråvarer som soya med lokalt produserte råvarer som ikke konkurrerer med jordbruksareal til produksjon av menneskemat. Sammenlagt vil dette kunne bidra til å redusere CO<sub>2</sub>-utslipp fra oppdrettsnæringen på grunn av mer klimavennlig fôrproduksjon, som er den største kilden til klimagassutslipp fra lakseoppdrett i Norge (26).

En annen fordel med å bruke råvarer produsert i havet er at akvakultur generelt, og fiskeoppdrett spesielt, kan bli uavhengig av landareal og ferskvann for å produsere råvarene til fôret (for

eksempel soyaprotein) og skape en sluttet marin produksjonssyklus. Det vil frigjøre landareal til produksjon av menneskemat og bidra til å sikre tilgangen på mat også i fremtiden. En sluttet marin produksjonssyklus vil bli en forutsetning for videre ekspansjon av marin akvakultur globalt, som antagelig også vil være helt nødvendig for å sikre nok mat til fremtidens befolkning (27).

## ØKT MATPRODUKSJON UTEN MER FÔR

En stor del av den globale tareproduksjonen (hovedsakelig i Asia) går til humant konsum. Med riktig valg av art(er), produksjonsforhold og foredling kan dette også være mulig i Norge, men det vil kreve en endring i forbruksmønster. Ved å øke bruken av marine planter i kostholdet vil vi kunne mangedoble matproduksjonen fra havet uten å tilsette mere ressurser i form av fôr eller gjødsel. Det vil heller være en motsatt effekt siden plantene tar opp løste næringsstoffer ettersom de vokser. Skjell brukes allerede som mat i Norge og resten av Europa og det ligger et stort potensiale i å utvide produksjonen og konsumet. Produksjon av andre arter, som for eksempel kråkeboller, har et begrenset omfang i Europeisk akvakultur, men høstes og dyrkes i stor grad i Asia (17). Her er nok potensialet til økt produksjon stort, men artene er i dag luksusvarer og vil antagelig ikke bidra nevneverdig til økt matproduksjon i stor skala.

## FORNYBARE RÅVARER TIL BIOENERGI

Biomasse fra makroalger er lovende nye råvarer til produksjon av bioenergi. De inneholder store mengder karbohydrater, som med riktig prosessering vil kunne fermenteres til bioetanol (28). Til forskjell fra bioetanol produsert fra landplanter krever ikke makroalgene landbruksareal som kan brukes til matplanter, ferskvann eller gjødsling for å vokse og representerer derfor et mye bedre alternativ. Produksjon av makroalger bidrar også til en betydelig CO<sub>2</sub>-fangst som gir redusert atmosfærisk karbon samt redusert forsuring av hav. Storskala produksjon av makroalger til bioenergi vil skape mange nye grønne arbeidsplasser og gi en betydelig klimagevinst sammenlignet med forbruk av tilsvarende mengde fossilt brensel. Dersom Norge skal nå sine klimamål og samtidig skal øke flytrafikken slik myndighetene ønsker finnes det få andre alternativer med samme potensial til produksjon av bioenergi som dyrking av tare i stor skala.

# INTERAKSJONS- OG SAMLEEFFEKTER I IMTA

Dette kapittelet tar for seg effektene som er bundet til samdyrkingen av arter i IMTA og effekter som vil være felles for flere systemer, mens de andre kapitlene ser på effektene av de forskjellige komponentene alene eller i kombinasjon med hverandre.

Effektene av de fysiske installasjonsstrukturene og tiltrekningen på ville fiskebestander vil ligne på det vi allerede kjenner fra monokultur av fisk. Derimot vil en større variasjon av strukturer (habitater) og arter i IMTA antagelig tiltrekke seg flere individer og arter enn tidligere kjent fra fiskeoppdrettsanlegg. Omfanget vil også bli større på grunn av et større arealbeslag i IMTA mot monokultur. Forholdet mellom biomassene av fisk og lavtrofiske arter i IMTA vil være sterkt avhengig av ambisjonsnivået om å fjerne utslipp fra fisken. Det må forventes at IMTA vil bruke større arealer enn monokultur dersom en betydelig andel av fiskens utslipp skal fjernes, men det vil da også bli produsert betydelige mengder biomasse fra lavtrofiske arter til humant konsum eller videreforedling. Mange av de potensielle miljøeffektene av IMTA (både negative og positive) vil være veldig lokalitetsspesifikke og avhengig av hvilke kombinasjoner av arter som brukes. Sesong- og døgnvariasjoner i metabolisme og biomasse hos de forskjellige artene vil kunne skape misforhold mellom biomasse av de ekstraktive artene og den forede arten. Dette vil for eksempel gjelde forholdet mellom makroalger og fisk. Slik dyrkingen foregår i dag har makroalger den største biomassen seint på våren, mens utslippene fra fisken normalt når toppen med høye temperaturer tidlig på høsten. Her trengs det mer forskning og utvikling for å kartlegge hvilke følger de forskjellige artskombinasjonene får gjennom året, og hvilke følger de får på ulike lokalitetstyper.

## BUNNMILJØ

Artssammensetning av naturlig forekommende bunndyr og bakterier avgjøres i stor grad av fysiske parametere som dybde, strømforhold, bunntype (hardbunn/bløtbunn, og hvis bløtbunn; sedimenttype, andel mudder o.l.). Artssammensetningen påvirker i sin tur omsetningskapasitet (nedbrytning, sedimentering) av tilført organisk materiale (fôrrester og fekalier) fra for eksempel oppdrettsaktivitet. Videre vil mengde organisk materiale som synker til bunn under et anlegg i stor grad påvirkes av lokalitetens bunn- og strømforhold. I likhet med monokulturanlegg, vil derfor plassering av lokaliteten være avgjørende. Produksjonsmessige forhold som størrelse på anlegg og fiskestørrelse vil også påvirke omfanget av bunnpåvirkningen siden organiske utslipp avhenger av mengde tilsatt fôr, som igjen avhenger av hvor i produksjonssyklus en er. Videre vil størrelsen på fekalier og pellets/fôr være avgjørende ettersom store partikler har større synkehastighet, og vil synke mer vertikalt, mens mindre partikler vil gå ut som svevepartikler og ha påvirkning på de frie vannmassene og bunn omkring/utenfor anlegget. Bunnpåvirkning er derfor svært sammensatt.

Et IMTA-anlegg vil kunne påvirke strømforholdene, og dermed sedimentasjonsrate/mengde organisk materiale som når bunnen. Dette vil avhenge av omfanget/produksjonsvolumet av de ulike integrerte artene og av avstand mellom merder og systemer med tau/substrat med blåskjell og makroalger. Det finnes også nedre grenser for hvor saktegående vannstrømmen rundt

anlegget kan være, samtidig som vannutskiftningen er stor nok til å forhindre kritisk lave oksygennivå for dyrene og da nedsatt dyrevelferd. Et IMTA-anlegg vil i motsetning til et monokulturanlegg kunne redusere noe av den organiske belastningen gjennom samdyrking av ekstraktive (filtrerende) arter samt bunnlevende arter som øker omsetningen av organisk materiale i sediment. Vannstrøm vil påvirke opptakseffektiviteten til de ekstraktive artene. Det kan derimot tenkes at denne påvirkningen vil gå i både positiv og negativ retning, avhengig av hvordan dyrkingsenhetene plasseres i forhold til fisken. I tillegg vil økende vannstrøm redusere trykket på det bentiske miljøet direkte under og like ved anlegget, noe som kompliserer bildet ytterligere.

Brakklegging er et viktig virkemiddel for å forhindre akkumulerende bunnpåvirkning av organiske utslipp fra monokultur. Brakkleggingstid og -årstid kan påvirke effekten det har (29). Brakklegging vil antagelig også bli viktig i driften av IMTA-anlegg. Selv om de ekstraktive artene kan fjerne deler av utslippene vil de ikke kunne fjernes helt og brakklegging er derfor viktig for å la bunnmiljøet hente seg inn før neste produksjonssyklus tilar.

Artene som omsetter fôrrester og fiskefekalier vil ha den største positive effekten på bunnmiljøet i et IMTA-system sammenlignet med konvensjonelt oppdrett. I hvilken grad de forskjellige artene brukes vil være veldig avhengig av lokaliteten og miljøet der. På lokaliteter med sterk strøm er det usannsynlig at skjell vil være særlig effektive siden vannstrømmen gjør at de kun vil filtrere en liten andel av vannet, og da heller ikke fjerne mye av de organiske partiklene. I slike tilfeller vil antagelig bunnlevende dyr være bedre egnet, siden de vil ha lenger tid på seg til å innta fiskefekalier og spillfôr når det ligger stille på bunnen eller i bur med gulv. På strømsvake lokaliteter kan skjell ha en større anvendelse, men det er da viktig å påse at de ikke bremser vannstrømmen ytterligere og skaper problemer med vannkvalitet for de andre artene. Bunndyr vil også her kunne være nyttige, men lav strøm kan føre til fôr- og fekaliekonsentrasjoner på bunn eller gulv i bur som blir så høye at det kan skape problemer for noen bunndyr. Tetthet av bunndyr må anpasses til næringstilførselen siden høy tetthet kan være sterkt negativt for overlevelse og vekst hos bunndyrene.

## VILLE FISKEBESTANDER

Alle undervannsstrukturer vil fungere som fisketiltrekkere (fra engelsk; fish aggregating device, FAD) i større eller mindre grad. Om fisk tiltrekkes av selve strukturen, spillfôr, økt konsentrasjon av byttedyr eller mulighet for skjul vil variere med art og modenhet av strukturene, men sannsynligvis spiller alle en rolle for effekten. Påvirkningen fra den fôrede arten vil antagelig ha størst betydning fordi spillfôr er en stor potensiell matkilde for fisk som oppholder seg i de pelagiske vannmassene (ikke bare pelagisk fisk men også torsk er vanlig ved oppdrettsanlegg). En kunnskapsoversikt utarbeidet for Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond konkluderer med at oppdrettsanlegg ikke bidrar til økt antall individer i en populasjon, men heller øker kondisjonen til individene som oppholder seg rundt anlegget (30). Fisken som oppholder seg rundt anleggene kommer dit fra andre plasser i området, for eksempel lokale samlings- og gyteplasser. Dersom fisk flytter seg bort fra tradisjonelle fiskeplasser kan det skape konflikter mellom oppdrettere og lokale fiskere siden de vanlige fiskeplassene vil få reduserte bestander.



Fisk som spiser spillfôr vil kunne påvirkes av dette i både positiv og negativ retning. Spillfôr som en liten andel av kosten vil antagelig være positivt, mens en stor andel av kosten kan skape ernærings-, helse- og kvalitetsutfordringer for fisken (30). Vill fisk som spiser spillfôr vil bidra med en rensefunksjon ved å hindre fôret i å nå bunnen og derfor redusere bunnpåvirkningen. Denne effekten vil antagelig skille seg lite fra monokulturanlegg. Et stort spekter av arter slår seg ned på oppdrettsanlegg for skjell, fisk og makroalger. På skjellanlegg er det registrert over 100 arter i tilknytning til anleggsstrukturene (31). Flere av artene som slår seg ned på undervannstrukturer vil antagelig virke tiltrekkende på vill fisk dersom de inngår i deres naturlige diett. IMTA-anlegg representerer et mer mangfoldig miljø og vil kanskje tiltrekke seg andre og flere fiskearter enn konvensjonelle fiskeoppdrettsanlegg. Dersom disse artene også har fritt tilgjengelige IMTA-arter som tare eller blåskjell i sitt naturlige kosthold forventes få negative effekter på den ville fisken, og muligens positive bestandseffekter av økt habitat- og fødetilgjengelighet på disse artene. Tareskog er et meget viktig habitat for mange fiskearter (24). Tare dyrkingsanlegg vil derfor kunne fungere som en kunstig tareskog med gunstig effekt på ville fiskebestander. Derimot vet vi lite om hva som skjer under høsting av tare og hva bortfall av det opparbeidede habitatet har å si for individene/artene som har kommet til. Dette er viktige spørsmål der det er behov for mere forskning. Tiltrekningen IMTA-anlegget har på ville bestander vil også kunne bli et problem dersom beitingstrykket fra den ville fisken blir for stort i anlegget. Det er allerede et problem med predasjon på blåskjell fra ærfugl i blåskjellanlegg. Predasjon fra vill fisk eller andre marine organismer vil antagelig bli aktuelt ettersom anleggene vokser i antall og utbredelse.

## UPWELLING

I den eufotiske sonen (der hvor sollyset trenger ned i vannet) vil planteplanktonproduksjonen kontinuerlig tappe vannmassene for uorganiske næringsalter. Under dette vil planteplanktonet ikke kunne drive fotosyntese og vil da heller ikke utarme næringssaltene i vannet, slik at det er mere uorganiske næringsalter på dypet enn i de grunne vannmassene. Upwelling er et konsept der næringsrikt vann pumpes fra dypet og opp til eufotisk sone hvor de tilførte næringssaltene gir økt vekst av planteplankton og makroalger (32). Økt produksjon av planteplankton vil gi økt næringsstilgang, og kan føre til økt vekst, for blåskjell (33). Det er vist at økt næringsstilgang vil gi økt andel ikke-giftig planteplankton (dinoflagellatene *Ceratium furca* og *C. tripos*) i forhold til potensielt toksiske planteplankton (*Dinophysis* spp, som kan lede til diaré [Diarrhetic Shellfish Poisoning, DSP]) og økt biologisk produktivitet av blåskjell (34,35). Dette er i praksis en forandring i den lokale planteplanktonfloraen, men sett i forhold til de positive effektene vil de negative effektene antagelig være små og lokale.

Upwelling vil bidra til å «fortynne» overflatevannet med vann fra dypet (som ikke inneholder lakseluslarver) og kan da tenkes å redusere konsentrasjonen av lakseluslarver nær overflaten. Selv om dette ikke vil føre til noen reduksjon i det totale antallet lakseluslarver i et større område vil den lokalt senkede konsentrasjonen kanskje ha en effekt på påslag i, eller smitte fra, anlegg som ligger i upwellingssonen. Omfanget av upwelling vil kunne kontrolleres i et IMTA-system og antas brukt for å bedre vekst av makroalger og skjell i systemet. Dette vil igjen bidra til økt ressursutnyttelse og ikke netto økt næringsutslipp fra systemet, gitt en godt styrt upwelling.

## SESONG- OG DØGNVARIASJON

Variierende fysiske forhold som temperatur og lysintensitet gjennom året vil sannsynligvis føre til variasjoner i IMTA-systemets påvirkning på miljøet. I vinterhalvåret er det lite plante- og dyreplankton i vannmassene. Blåskjell vokser bedre i IMTA enn i naturen i vinterhalvåret, antagelig på grunn av lav tilgjengelighet av naturlig plankton og god tilgang på fiskefôrrester og -fekalier relativt til metabolismen deres (36). Det kan godt tenkes at det samme vil gjelde for bunndyrene og makroalger og at en vil kunne se en relativ økt omdanning av organisk materiale fra fisk og skjell i vinterhalvåret. I varme strøk er sjøpølsenes vekst begrenset av høye temperaturer i sommerhalvåret, men for norske forhold kan det godt tenkes at det motsatte blir tilfellet. Det har ikke vært mulig å stadfeste dette da det eksisterer lite litteratur på oppdrettsbiologi av sjøpølsearter som er aktuelle å bruke i IMTA i Norge.

Makroalgene har god vekst om vinteren. Det skyldes antagelig mindre næringskonkurranse fra planteplankton i vinterhalvåret. Påslag av begroingsorganismer er også kraftig redusert om vinteren siden disse som regel spres med planktoniske livsstadier. På grunn av dette er makroalgedyrking i Norge mest aktuelt i vinterhalvåret med høsting på våren, bortsett fra enkelte lokaliteter i Nord-Norge med lavt påslag også om sommeren (28,37). Det vil igjen føre til usynkroniserte biomasser av de forskjellige artene og usynkronisert evne til å ta opp næringsstoffer relativt til det som blir produsert. Utslippene fra fôret fisk er på topp seint på sommeren (august-september) mens tarebiomassen, og da også evnen til å ta opp løste næringsstoffer, er størst seint på våren (mai-juni). Selv om mesteparten av lakselokalitetene har de største utslippene seint på høsten er det også noen som har utslakting på våren og derfor også størst biomasse og utslipp rett før utslakting. Disse lokalitetene vil være spesielt egnet til produksjon av makroalger i kombinasjon med laks. Det er mulig at produksjonssyklusen for makroalger vil endre seg i fremtiden, når de skal produseres for andre ting enn humant konsum, som er hovedområdet så langt. For eksempel ved produksjon til bioetanol vil mengden karbohydrater i makroalgebiomassen være viktig for mengden bioetanol som kan produseres. Karbohydratinnholdet i tare er høyest etter sommerens vekstsesong og det vil kunne være fordelaktig å høste taren da. Kanskje vil det føre til at fordelene med mere karbohydrater oppveier ulempene med påvekst av andre organismer, men den kunnskapen har vi ikke enda.

Under fotosyntesen produserer makroalgene oksygen. Avhengig av strømforhold kan det føre til forhøyede oksygenivå sammenlignet med en monokulturreferanse og således være med å sikre oksygentilførsel til den fôrede arten og organismene som spiser partikulært materiale. Denne effekten vil være sterkt avhengig av strømforholdene på den aktuelle lokaliteten og bare gjøre seg gjeldene i døgnets lyse timer; i mørket vil makroalgene også konsumere oksygen slik som andre organismer. Avhengig av produksjonsvolum og strømforhold kan det også tenkes at de vil senke oksygenivået i vannet i så stor grad at det kan få betydning for de andre artene i systemet. Slik tare dyrking drives i dag vil derimot dette ikke være noe stort problem, da tarebiomassen er minst på det tidspunktet på året der oksygenforbruket til fisken (og antagelig skjell og bunndyr) er størst.

Påvirkningen fra konvensjonelt oppdrett og IMTA vil variere med biomassen av fôret fisk i anlegget. Ved utsett vil biomassen være lav, mens den vil øke utover i produksjonssyklusen. I takt med dette vil fôrforbruk og ekskresjon av avfallsstoffer fra fisken øke, og da også

næringstilførselen til miljøet. Artene på lavere trofisk nivå vil også vokse seg større i denne perioden og ha et større behov for næring. Dette vil kunne avlaste effekten noe, men det er sannsynlig at bunnpåvirkningen allikevel vil være størst når biomassen av fôret fisk er på topp. En noe høyere omsetning av organisk materiale og økt relativ gjenbruk av næringsstoffer i vinterhalvåret vil kunne gjøre at vinteren fungerer som en slags brakklegging for organisk bunnpåvirkning. I sommerhalvåret vil effekten reduseres for skjellene og det kan hende de vil gå over fra å være en netto konsument om vinteren, til å bli en netto produsent av organisk partikulært materiale om sommeren. Det er vanskelig å vite hva som vil skje med bunndyrene. Derimot bestemmer temperaturen alle de aktuelle bunndyrenes metabolisme og da bør næringsbehovet hos bunndyrene også følge utslippsbelastningen fra fisk og skjell. For lokaliteter med stort dyp vil det antagelig være liten variasjon i temperaturen på bunnen gjennom året og da også i metabolismen til bunndyrene om de dyrkes nær bunnen.

## FYSISKE INSTALLASJONSSTRUKTURER

Alle typer flytende anlegg trenger bunnforankringer og tau/vaiere/kjetting som holder fast flyteelementer. Bunnforankringene vil tilføre faste strukturer til det bentiske miljøet, og effekten vil avhenge av utgangspunktet. Så lenge det ikke lekker ut miljøgifter eller skadelige kjemikalier fra strukturene vil de utgjøre liten forskjell for hardbunnmiljøet; de vil raskt koloniseres av tilsvarende arter som er tilstede i utgangspunktet. For bløtbunn vil det være annerledes siden de bidrar med hardbunnsstruktur og derfor vil gi grobunn for hardbunnsarter som normalt ikke finnes på bløtbunn. Dette vil igjen kunne bidra til å øke diversitet og produksjon i området, men vil fortrenge bløtbunnsfauna (31).

Alle fysiske installasjoner vil kunne skape skygge for bunnen i nærområdet (se underkapittel om makroalger). Redusert lystilgang vil kunne bli et problem for sjøgressenger og annen makroalgevekst. Effekten av skyggelegging er svært avhengig av omfanget på anlegget, samt dybden og den normale lysgjennomtrengingen og bunnflora/-fauna i området. Hvor stor påvirkning det blir fra skyggelegging er derfor veldig lokalitetsavhengig.

Produksjonsinstallasjonene vil ha en påvirkning på strømforholdene og kunne føre til redusert vannhastighet (38,39). Dersom anleggene er store nok kan det tenkes å få effekt på kystnære prosesser, vannstrømmer og utvekslingsrate av vann, men det antas at det skal mye til for at dette skal skje bortsett fra i veldig spesielle tilfeller. IMTA-anlegg vil kunne redusere vannstrøm og således øke den naturlige sedimenteringsraten i området i enda større grad enn et konvensjonelt fiskeoppdrettsanlegg på grunn av flere og andre typer anleggskomponenter. Dette vil føre til en økt næringsbelastning på det bentiske økosystemet på grunn av økt sedimentering av organiske partikler. Sammenlignet med for eksempel økt opptak av organiske partikler hos skjell ved redusert strøm antas det imidlertid å være en effekt med liten betydning. Samleffektene av den reduserte vannstrømmen og blåskjellenes produksjon av sedimenterende organisk materiale (31) vil derimot kunne bli merkbar. Dersom vannstrømmen reduseres mye vil det antagelig bli et problem for vannutskifting og oksygentilgang for den fôrede fisken før det får en stor effekt på sedimenteringsraten. Det vil være uakseptabelt både i velferds- og produksjonsøyemed og derfor regulere seg selv.

## BIOMASSERELASJON MELLOM FISK OG ANDRE ARTER

Enhver art (eller kombinasjon av arter) som skal gå inn i et IMTA-system sammen med fisk må redusere miljøpåvirkningen fra fisken i større grad enn den miljøpåvirkningen den selv har. Uten dette faller intensjonen bak IMTA bort. I tillegg må man også kunne forutsette at reduksjonen skal være betydelig. Hva som er betydelig vil alltid være gjenstand for debatt. For eksempel vil en netto reduksjon i miljøpåvirkning på 0,1 % antagelig alltid være for lite og 50 % mer enn godt nok, men akkurat hvor grensen skal gå vil være et spørsmål om skjønn. Det vil også avhenge sterkt av biomasseforholdet mellom fisken og de(n) andre arten(e), siden en stor økning i produsert biomasse vil kunne forsvare en relativt liten reduksjon i miljøpåvirkning. Dette er en vurdering som vil måtte gjøres i hvert enkelt tilfelle og på hver enkelt lokalitet. Vi har allikevel valgt å ta med noen betraktninger rundt forholdet mellom biomasse i de forskjellige artene for å sette dette i perspektiv, og vise omfanget som er nødvendig for å redusere miljøpåvirkning fra lakseoppdrett i åpne merder.

Biomassen på lokalitetene for lakseproduksjon i Norge i dag varierer mye. De minste anleggene har bare én konsesjon (780 tonn maksimal tillatt biomasse til enhver tid) mens de største har 4-5 konsesjoner på én lokalitet (eller flere nærliggende lokaliteter som i praksis fungerer som én lokalitet). Den årlige produksjonen varierer fra ca 1000 til over 5000 tonn laks. Næringsutslippene fra en lokalitet er nært knyttet til biomassen og varierer derfor mye mellom lokalitetene. Det samme vil også gjelde for omfanget av et IMTA-system som skal implementeres på de aktuelle lokalitetene. Utslipp av løst og partikulært nitrogen og fosfor vil også avhenge av førsammensetningen. De mest oppdaterte tallene (basert på førsammensetning i 2013) gir utslipp av 20 kg løst og 25 partikulært nitrogen, og 3 kg løst og 4 kg partikulært fosfor, per tonn produsert laks (40). Dette er næringsgrunnlaget for de andre IMTA-artene (i tillegg til naturlig forekommende næring) og miljøpåvirkningen som de skal redusere/fjerne.

De løste næringsstoffene er det i all hovedsak makroalgene som klarer å utnytte seg av (i IMTA med åpne merder) mens de partikulære næringsstoffene kan konsumeres av både filtrerende arter (skjell) og bunndyr. Eutrofiering og medfølgende mikroalgeoppblomstring regnes som den viktigste miljøpåvirkningen av utslipp av løste næringsstoffer til akvatiske miljø (40). I sjøen antas løst nitrogen å være begrensende for algers vekst. Reduksjon i utslipp av løst nitrogen vil derfor også ha størst forbedrende miljøeffekt. Tilgjengelig løst nitrogen vil også begrense produksjonen av de lavtrofiske artene i IMTA; utslippene fra fiskeoppdrett inneholder forholdsmessig mer fosfor enn nitrogen sammenlignet med det som finnes i de lavtrofiske artene. Vanninnhold og innhold av nitrogen og fosfor varierer noe mellom arter og gjør biomasseregnskap artsspesifikke. Vi har derfor tatt utgangspunkt i sukkertare, blåskjell og hummer for biomasseregnskapene.

De forskjellige lavtrofiske artenes evne til å ta opp næringsstoffene fra den førede fisken vil i realiteten variere mye. Det er avhengig av en rekke naturgitte forhold, samt plassering i forhold til fisken. Se for eksempel diskusjonen i blåskjellkapittelet om skjellenes evne til å ta opp partikler fra vannsøylen. I tillegg er ingen organismer i stand til å inkorporere alt som tas opp, da noe vil gå med til metabolisme. Tapet av næringsstoff fra føre til produsert biomasse ligger på 57-62 % for nitrogen og 70-76 % for fosfor i lakseproduksjon (4,41). Tare, blåskjell og hummer er fastsittende eller mindre mobile arter enn laks og det er derfor sannsynlig at de har en lavere basalmetabolisme som ikke brukes til vekst. Derfor er det også rimelig å anta en lavere

metabolisme og lavere tap hos de lavtrofiske artene enn hos laks. Det er derimot vanskelig å finne anslag for dette. Samtidig vil det metabolske tapet kun påvirke hvor stor andel av næringsstoffene som teoretisk kan inkorporeres i lavtrofiske arter, ikke hvilken biomasse som trengs for å innta næringsstoffene. Vi har derfor valgt å utelate tap fra beregningene. Siden de lavtrofiske artene ikke beholder alle næringsstoffene de tar inn vil det i realiteten være umulig å fjerne utslippene fra fiskeoppdrett helt, men det er heller ikke nødvendig for at de lavtrofiske artene skal ha en positiv effekt.

Arealberegninger for produksjon av hummer er ikke tatt med da det ikke har lyktes å finne litteratur med grunnlagstall for produksjon per areal. I tillegg vil det kunne være forskjeller i biomassesyklus mellom de forskjellige artene som kompliserer bildet og skaper utfordringer for opptaket. For eksempel er tarebiomassen størst på våraparten (utsett høst/vinter og opptak sein vår) slik tare for det meste dyrkes i Norge i dag, mens det på de fleste lakselokaliteter er mest utslipp fra fisken på høsten når temperaturen er høyest og utføringen og veksten er størst. Dette er det ikke tatt hensyn til i beregningene siden det er biomasse- og areal aspektene som er mest interessante for å visualisere størrelsesforholdet mellom de forskjellige IMTA-komponentene ved et tenkt opptak.

Biomassen og arealet som kreves for å redusere utslippene fra lakseoppdrett med 10 % eller mer er betydelige (Figur 10). Til sammenligning er arealforbruket til den samlede norske lakseoppdrettsnæringen ca 420 km<sup>2</sup> (i snitt 0,43 km<sup>2</sup>/43 hektar per lokalitet), medregnet bunnforankringer (42). Muligheten for opptak av fôrrester og fekalier i filtrerende arter og bunndyr er i realiteten nokså begrenset, siden det forutsetter kontakt med de faktiske næringspartiklene som stammer fra fisken for at de skal ha en reduserende effekt på miljøproblemene og samtidig få nok føde. 100 % opptak av de partikulære utslippene er derfor usannsynlig for disse artene, men en mindre prosentandel vil kunne la seg gjøre under rette forhold. Det er også sannsynlig at dette ikke vil være godt nok som eneste matkilde for alle de potensielle artene. Blåskjell vil antagelig ha god tilgang på annen næring ved å supplere med naturlig forekommende føde, mens bunndyr som hummer antagelig vil trenge tilleggsføde, spesielt med dyrkingsvolumene spesifisert over. Noen arter børstemark vil derimot kanskje kunne klare seg utelukkende på utslipp fra merdene. Makroalger vil derimot kunne dyrkes uten direkte tilknytning til den fôrede fisken, siden deres opptak av løste næringsstoffer vil bidra til å redusere næringssaltnivået i vannmassene. Om de tar opp de samme molekylene som det fisken slipper ut blir da mindre viktig, siden det er næringssaltnivået i vannet som har betydning for eutrofiering i fjord- og havområdene.

| Fiskeproduksjon (tonn)        | 1 000 |       |       | 3 500 |        |        | 5 000 |        |        |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
|                               | 10 %  | 50 %  | 100 % | 10 %  | 50 %   | 100 %  | 10 %  | 50 %   | 100 %  |
| Sukkertare (tonn)             | 889   | 4 444 | 8 889 | 2 222 | 11 111 | 22 222 | 4 444 | 22 222 | 44 444 |
| Sukkertare (ha)               | 12.7  | 63    | 127   | 32    | 159    | 317    | 63    | 317    | 635    |
| Sukkertare (km <sup>2</sup> ) | 0.13  | 0.63  | 1.27  | 0.32  | 1.6    | 3.2    | 0.63  | 3.2    | 6.3    |
| Blåskjell (tonn)              | 295   | 1 473 | 2 946 | 736   | 3 682  | 7 365  | 1 473 | 7 365  | 14 729 |
| Blåskjell (ha)                | 29    | 147   | 295   | 74    | 368    | 736    | 147   | 736    | 1 473  |
| Blåskjell (km <sup>2</sup> )  | 0.29  | 1.47  | 2.9   | 0.74  | 3.7    | 7.4    | 1.47  | 7.4    | 14.7   |
| Hummer (tonn)                 | 367   | 1 836 | 3 671 | 918   | 4 589  | 9 178  | 1 836 | 9 178  | 18 356 |

Figur 10 Beregninger av biomasse av lavtrofiske arter som kreves for å ta opp en viss andel av næringsutslipp fra føret fisk

Opptak av alt av løste næringsstoffer og 10 % av partikulære utslipp fra en oppdrettslokalitet vil kunne generere ca 9 ganger så mye biomasse i sukkertare og 30-40 % av lakseproduksjonen i blåskjell eller hummer. For en liten lokalitet (1 konsesjon) vil dette tilsvare ca 9 000 tonn tare og ca 300 tonn blåskjell eller 350 tonn hummer. Til sammenligning var den totale norske produksjonen av blåskjell 2731 tonn i 2015 (1) og fangsten av hummer 54 tonn i 2016 (43). Innføring av IMTA på selv et beskjedent antall lakseoppdrettslokaliteter har potensiale til å bidra med en stor økning i produksjon av tare, blåskjell og hummer sammenlignet med status i dag. Derimot gjenstår det en god del teknologiutvikling for å oppnå disse produksjonsvolumene i IMTA. For tare og blåskjell er effektiv og automatisert høstings- og dyrkingsteknologi enda helt i startfasen, mens det for hummer eller andre bunndyr ikke er utprøvd i noe som kan tenkes å ligne på denne skalaen.

# MAKROALGER

Dyrking av tang og tare krever ingen tilskudd av fôr; de livnærer seg på næringssaltene som finnes i vannmassene. I nærheten av oppdrettsanlegg med fisk, eller andre dyr som skjell, vil næringssaltene være tilstede i høyere konsentrasjoner enn ellers i havet siden dette er blant fiskens avfallsprodukter. Ved å nyttiggjøre seg av dette kan makroalger få økt vekst i et IMTA-system og samtidig bidra til reduksjon av næringssaltene i vannmassene. Reduksjon av næringssaltnivå anses å være den viktigste miljøfaktoren ved dyrking av makroalger i IMTA, men effekten vil være sterkt avhengig av avstanden til merdene med fisk for at makroalgene skal kunne få bedre tilvekst og redusere forhøyede konsentrasjoner av næringsalter. De vil uansett kunne fjerne næringsalter fra vannmassene ettersom de vokser og derfor redusere sjansen for eutrofiering og algeoppblomstring. Derimot vil den raske fortynningen av næringsalter som skjer nedstrøms et oppdrettsanlegg gjøre at økt tilvekst kun er reelt nært fiskemerdene; jo mere integrert makroalgene er med den førede fisken, desto bedre for makroalgens vekst og næringsaltopptak.

Økt produksjon av makroalger i IMTA kan gi økte problemer med organisk belastning på bunnmiljø på grunn av frafall og erosjon av planter. Effektene vil komme i tillegg til utslipp fra fisk og skjell, og i motsetning til skjell har ikke makroalger noen reduserende virkning på partikulært organisk materiale så nytte-/ulempe-avveilingen vil bli annerledes. Effekten vil antagelig være mindre skadelig for bunnmiljøet på grunn av lavere næringsstetthet og mere struktur i plantedeler kontra fiskefôr og -fekalier, samtidig som mengdene vil være mindre. På dette feltet er det gjort lite forskning som er relevante for norske forhold og mer kunnskap er nødvendig.

Det eksisterer lite data på den genetiske populasjonsstrukturen til makroalger i Norge. Data fra andre deler av verden indikerer stor sannsynlighet for at det finnes lokale stammer med lite genetisk utveksling langs kysten. Spesielt på grunn av dette er det viktig å være føre-var ved utsett av makroalger i anlegg; kun lokale stammer bør brukes før mer kunnskap er på plass.

## OPPTAK AV UORGANISKE NÆRINGSSTOFFER

Makroalger tar opp løste næringsalter fra havet. I områder med forhøyet næringssaltkonsentrasjon grunnet naturlige årsaker eller antropogene utslipp (for eksempel kloakk, landbruk og havbruk) vil makroalger kunne redusere næringssaltnivå lokalt og dermed redusere negative effekter fra forhøyde næringssaltkonsentrasjoner på økosystemet. Økt mengde næringsalter fra føret fisk i åpne merder har hovedsakelig effekt på det pelagiske økosystemet (vannsøylen). Næringssaltene vil i sin tur påvirke fytoplankton i den eufotiske sonen (der det er tilstrekkelig lys for fotosyntese). Påvirkningen på det pelagiske økosystem vil være avhengig av fysiske forhold som strøm og hydrodynamikk, siden dette vil være bestemmende for hvor fort næringsstoffene spres og fortynnes i vannet, som igjen vil være utslagsgivende for hvilken effekt de får på økosystemet (5). Makroalgens opptak av næringsalter vil utgjøre forskjellen fra monokultur og i hovedsak bidra til å forbedre de negative effektene. Dyrking av alger krever ikke tilsetning av fôr eller gjødsel, slik at alger i IMTA-system kun vil ha en reduserende effekt på forekomst av næringsalter. Makroalgene har størst effekt i IMTA ved å redusere påvirkningen på

det pelagiske økosystem fra de løste næringsstoffene fra fôret fisk. Opptakseffektiviteten av næringsstoffer til makroalger vil være av størst betydning for det positive bidraget til makroalgene og her vil avstand til merdene med fôret fisk ha mye å si. Jo nærmere jo bedre, uten at det kommer i konflikt med andre driftsparametre som for eksempel tilgang til merdene med båt.

Studier fra både landbaserte og åpne kultursystem bekrefter at næringsstoffer som frigjøres fra oppdrettsanlegg er godt egnet for tarevekst og det er estimert at tare kan utnytte mellom 30 og 100 % av oppløst nitrogen produsert fra fiskeoppdrett (8,21,44–46). Forsiktige anslag antyder at 10 – 30 prosent av nitrogenutslippene kan utnyttes til vekst av tare (pers. komm., KI Reitan, NTNU). Et nylig avsluttet forskningsprosjekt i regi av NFR konkluderer med at IMTA-dyrking av tare i nærheten av lakseoppdrettsanlegg kan ta opp 0.5 % av de løste næringsstoffene per hektar dyrket tare (47).

1 hektar av henholdsvis søl (*Palmaria palmata*) og sukkertare (*Saccharina latissima*) dyrket i nærheten av et skotsk oppdrettsanlegg som produserte 500 tonn laks over to år tok opp henholdsvis 12 % og 5 % av nitrogenutslipp anlegget. Algene i nærheten av anlegget hadde også et høyere innhold av nitrogen og en økt tilvekst på inntil 63 %, sammenlignet med kontroll. Gitt optimale forhold vil ett hektar kunne gi et utbytte på inntil 180 tonn søl og 220 tonn sukkertare (våtvekt). I samme forsøk vokste søl 48 % bedre og sukkertare 61 % bedre i sommerperioden, mens søl vokste 63 % bedre og sukkertare 27 % bedre gjennom hele sesongen nær oppdrettsanlegg sammenlignet med kontroll (48). Også i Norge viser forsøk at en kan oppnå bedre vekst (og da også økt fangst av næringssalter) ved å dyrke tare i integrerte system enn ved dyrking i upåvirkede områder (49). En studie fra Norge med sukkertare har derimot funnet mye lavere opptakseffektivitet for løst uorganisk nitrogen ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ); henholdsvis 0,36 % per hektar tare ved en dyrkingsperiode fra august til juni og 0,41 % fra februar til juni (45).

Avstanden til den fôrede arten vil være av stor betydning for både miljøforbedringseffekt og potensiale for økt vekst av tare i IMTA. Løste næringsstoffer fortynnes så raskt at det kan være vanskelig å påvise forhøyede konsentrasjoner et stykke unna fiskeoppdrettsanlegg (10). Jo nærmere merdene med fôret fisk tareanlegget står, desto større blir derfor potensialet for økt vekst. Med den økte veksten følger også et økt opptak av næringssalter og en økt effektivitet som utslippsfjerner fra den fôrede arten. Ved en plassering lenger unna vil makroalgene fortsatt vokse og fjerne løste næringsstoffer, men økt vekst på grunn av økt konsentrasjon av næringssalter vil da utebli.

Makroalger er primærprodusenter og er i likhet med planter på land avhengige av næringssalter for å kunne vokse (50). Nitrogen og fosfor er altså ikke giftstoffer/miljøgifter, men en naturlig og nødvendig del av miljøet. Potensielle skadelige effekter av næringssalter for det marine miljø oppstår bare hvis tilførte nivå overstiger økosystemets bæreevne. Hvorvidt utslipp av næringssalter fra landbruk, havbruk eller andre kilder er forurensning vil derfor variere med mengden som er tilstede, tiden på året og det aktuelle miljøet.



| <b>Norwegian salmon industry</b>   |                       |  |
|--|-----------------------|--|
| Salmon and rainbow trout production  |                       | 1.31 mill tons (2012)  |
| Fish feed use  |                       | 1.56 mill tons (2012)  |
| Dissolved inorganic nitrogen (DIN) available for algae   |                       | 45% (N-discharge from fish)  |
| <b>A: Estimated space requirements</b>   |                       |  |
| Salmon production (5 000 tons):  |                       | 30 ha  |
| Seaweed production (5 000 tons):   |                       | 30 ha  |
| <b>B: Biomass production over a <u>two year</u> period</b>   |                       |  |
| Salmon   | One production cycle  | 5 000 tons ww<br>1 800 tons dw (36% dry matter content)              |
| Seaweed  | Two production cycles | 10 000 tons ww (2 x 5 000)<br>1 500 tons dw (15% dry matter content) |
| <b>C: Bioremediation (IMTA)</b>  |                       |  |
| A 5 000 tons seaweed farm (30 ha) will have a net uptake of 10% of the DIN per year from a 5 000 tons salmon production (30 ha). |                       |  |
| (Wang et al., 2012; Broch et al., 2013; Handå et al., 2013; Wang et al., 2014)   |                       |  |

Figur 11 Potensiale for biologisk rensing av uorganisk nitrogen fra fiskeoppdrett gjennom makroalgedyrking i Norge. Fra Skjermo m.fl. 2014 (23)

## NÆRINGSONKURRANSE MED PLANTEPLANKTON

I likhet med makroalger er planteplankton avhengige av tilgang på uorganiske næringsstoffer for fotosyntese og vekst. Planteplanktonet har normalt syklisk vekst gjennom året. Fra våren og ut sommeren utnytter de seg av størsteparten av de tilgjengelige næringsalter i de øverste vannlagene (51). Dette fører til at det er et næringsoverskudd i tempererte marine økosystemer gjennom høst- og vinterhalvåret og enkelte tarearter kan da ha relativt god vekst på tross av lave temperaturer. I sommerhalvåret er det også mye mere påslag av begroingsorganismer på taren, som kombinert med større næringsstilgang gjør vinterhalvåret til en attraktiv dyrkingssesong for tare. Dette vil igjen føre til at næringskonkurransen med planteplankton blir minimal, og da også den pelagiske påvirkningen.

## EROSJON OG BUNNPÅVIRKNING

Makroalger i IMTA vil høstes ved endt produksjonssyklus og da fjernes fra havet i motsetning til en naturlig tareskog. Selv om størstedelen av det organiske materialet da fjernes vil makroalgene være utsatt for erosjon gjennom produksjonssyklusen. Hele planter eller plantedeler kan bli revet av fra dyrkingsstrukturene under høsting, bølge- eller vindpåvirkning, predasjon eller intern (andre dyrkede makroalger) eller ekstern plasskonkurransen (påvekst) på dyrkingsstrukturene. Dette vil skape partikulært materiale som i hovedsak vil påvirke det bentiske økosystemet dersom det synker til bunns. Dyrking av makroalger i IMTA vil derfor kunne overføre noe av belastningen av næringsstoffer fra de frie vannmassene til det bentiske økosystemet. Næringstransport fra tang- og tareskog til andre økosystemer er viktige prosesser i naturen og bidrar til å øke næringsstilgangen i næringsfattige systemer (52). Det er først når mottagersystemet ikke klarer å håndtere de næringsmengdene som blir tilført at det blir et miljøproblem, enten ved forandret artssammensetning og/eller forandret kjemi i bunnsedimentene. Dette forekommer også i naturen (53).

## OPPTAK OG LAGRING AV CO<sub>2</sub>

Når CO<sub>2</sub>-innholdet i atmosfæren øker, vil det føre til en økning av løst CO<sub>2</sub> i vannmassene. Når CO<sub>2</sub> løses i vann dannes det karbonsyre, som igjen vil senke pH (forsuring). Marin forsuring kan allerede påvises, og det ventes å akselerere i fremtiden hvis ikke utslippene av klimagasser reduseres. Forsuringen antas å få enorme implikasjoner for marine organismer generelt, og spesielt ødeleggende vil den være for organismer som produserer og er avhengige av kalkskall, som for eksempel koraller, skjell og kalkalger. En ytterligere redusert pH vil øke løseligheten av kalk og føre til at disse organismene ikke lenger klarer å danne kalkskall. Gjennom opptak av CO<sub>2</sub> til fotosyntese kan økt makroalgeproduksjon bidra til å redusere havforsuring og atmosfærisk CO<sub>2</sub>. Beregninger gjennomført av HI estimerer at den norske tareskogen i dag binder ca 3400 tonn CO<sub>2</sub> per km<sup>2</sup> (54) og det er sannsynlig at lignende, eller bedre, tall kan oppnås ved dyrking. Produktiviteten avhenger av art, lyspenetrering (vannkvalitet), strøm og tilgjengelig mengde næringsstoffer.

I hvilken grad avrevne deler og hele makroalger fører til økt CO<sub>2</sub>-lagring i sedimentene vil avgjøres av nedbrytningen av disse i bunnmiljøet. Her vil antagelig mengdene spille en stor rolle. Jo større mengder tilført, desto større er sannsynligheten for at den bentiske faunaen ikke vil klare å omsette det organiske materialet tilstrekkelig, og at det så sedimenterer. Det vil si at økt CO<sub>2</sub>-lagring og økt bunnpåvirkning antagelig er sammenfallende. Det er sannsynlig at mengdene med tilført organisk materiale fra makroalger må være meget stort for at CO<sub>2</sub>-lagringen skal ha en nevneverdig effekt. Valget mellom en redusert bunnpåvirkning og økt CO<sub>2</sub>-lagring vil derfor antagelig gå i favør av redusert bunnpåvirkning. I IMTA vil dette kunne styres til en viss grad ved å forandre på artssammensetning og mengde bunndyr. Dersom området under anlegget ikke er avgrenset vil tilførsel av plantemateriale til bunnmiljøet kunne tiltrekke seg herbivore og omnivore bunndyr som i utgangspunktet ikke finnes i området. Det vil kunne føre til en økning i biodiversitet på kort sikt eller ved lav tilførselsrate. Hvor stor belastning området tåler før det vil føre til en reduksjon i den opprinnelige faunaen vil være svært avhengig av bunnforhold. For bløtbunn er det sannsynlig at en vil se en sammenlignbar utvikling som observert for annen organisk belastning under oppdrettsanlegg; en overgang fra den normale faunaen til mer opportunistiske arter med økende tilførsel (muligens med større innslag av herbivore arter) og en overgang til anoksiske forhold med tilførsel over områdets bæreevne. Hvor raskt denne utviklingen går og hvilke mengder som skal til i forskjellige miljøer er derimot usikkert, og bør undersøkes nærmere.

## SKYGGELEGGING

Dyrking av makroalger kan ha negativ effekt på sjøgressenger i umiddelbar nærhet til anlegget, antagelig på grunn av skyggelegging av havbunn og medfølgende skift i styrkeforholdet mellom arter (55). Denne problemstillingen vil være ekstremt lokalitetsavhengig. Dersom lokaliteten ligger over nokså store dyp med tilsvarende lite naturlig lysgjennomtrenging vil det være liten eller ingen effekt, men dersom anlegg plasseres på grunne lokaliteter kan det bli et problem.

## FILTRERENDE ARTER

De vannfiltrerende artene som i dag har blitt tatt i bruk som produksjonsdyr i IMTA under forhold som ligner på det vi har i Norge er i all hovedsak forskjellige former for skjell. Blåskjell er vanligst, men også kamskjell og østers har vært undersøkt. Tunikater nevnes ofte som et potensielt produksjonsdyr i IMTA, men veldig lite dokumentasjon finnes i den vitenskapelige litteraturen når det kommer til produksjon eller miljøeffekter av tunikater i IMTA eller monokultur. Hovedfokus i dette kapittelet blir derfor skjell, med overvekt på blåskjell siden det har vært mest undersøkt.

Blåskjell er den mest utbredte skjellarten i IMTA fra klima- og miljøforhold som ligner på det vi har i Norge. Lite informasjon finnes om andre kandidater. Blåskjell dyrking bidrar med negativ miljøpåvirkning i form av næringsutslipp og forandring av bunnforhold, men kan også redusere næringsutslipp fra fisk og bidra til karbonlagring. For at blåskjellene skal være positive i IMTA er det viktig at de har en større miljøforbedrende effekt enn det de bidrar med av negativ miljøpåvirkning. Det eksisterer få presise estimater på dette forholdet. Det som finnes anslår at næringspartikler fra den forede fisken må utgjøre 10-20 % av blåskjellenes kost for at blåskjellene skal bidra miljøforbedrende. I tillegg må blåskjellenes biomasse være så stor at de klarer å ta opp en betydelig andel av de partiklene som kommer ut. Det er store utfordringer knyttet til det siste punktet, siden en stor opptaksgrad fordrer at en stor andel av vannmassene filtreres. For at det skal være mulig må tettheten av blåskjell være meget stor, noe som igjen vil bremse vannstrømmen så kraftig at det er sannsynlig at fisken blir negativt påvirket. Dersom man klarer å utvikle tekniske løsninger for blåskjell dyrking der en stor andel av næringspartiklene fra den førede fisken treffer blåskjellene, uten at det legger store begrensninger på vannstrøm gjennom systemet, vil mye være løst. Det vil kreve nedsenkede systemer plassert lavere enn merdene (direkte under og delvis på siden) siden det er her partikkelkonsentrasjonene antas å være høyest.

## SKJELL

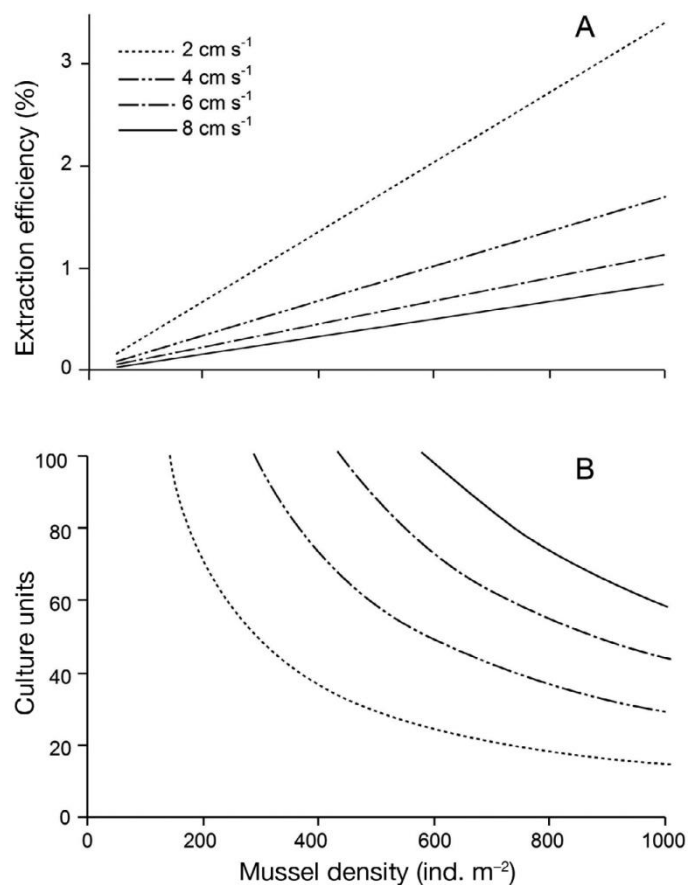
### OPPTAK AV SMÅ ORGANISKE PARTIKLER

Blåskjell og andre skjell spiser ved at de filtrerer ut naturlig forekommende partikler og små organismer fra vannmassene, hovedsakelig planteplankton. Skjell har en stor filtreringsevne og det er vist at de kan være med å tynne ut eller utarme partikulært materiale i vannmassene (56,57) gitt riktige forhold. På tross av dette viser undersøkelser i IMTA-systemer eller rene blåskjell dyrkingsanlegg at effekten på partikulært materiale og plankton i realiteten er beskjeden (22,58) eller fraværende (59). Ved høye nivåer av marint svevestøv (suspended particulate matter) selekterer blåskjell for partikler med høyt organisk innhold og uorganiske partikler blir trolig avvist (60). Ved lave partikkelkonsentrasjoner forekommer trolig ikke seleksjon, og da tar blåskjellet opp både organisk og uorganisk materiale. Blåskjell har lik opptakseffektivitet for partikulært organisk karbon, nitrogen og fosfor (61).

Hvorvidt blåskjell vil være en nyttig komponent i et gitt IMTA-system bestemmes av skjellenes opptakseffektivitet for fôrrester og fekalier fra den fôrede arten. Det antas at minst 10-20 % av dietten til blåskjell må bestå av partikulært materiale fra den fôrede arten for at blåskjelldyrking i IMTA skal fjerne mer organisk materiale enn det tilfører miljøet (22). For å kunne oppfylle dette må mengden organiske partikler fra den fôrede fisken derfor utgjøre minst 10 % av partiklene i vannmassene der skjellene dyrkes, helst mer. Det er sådd tvil om hvorvidt dette er realistisk rundt kommersielle fiskeoppdrettsanlegg (12). Dersom opptaket skal være stort nok til å ha en miljøforbedrende effekt må biomassen av blåskjell også være så stor at de klarer å fjerne nevneverdige mengder fôrrester og fekalier fra den fôrede fisken.

I et IMTA-anlegg vil dietten bestå av en kombinasjon av den naturlige føden og utslipp fra den fôrede arten. Her kan både fekalier og små rester/biter av overskuddsfôr (ikke hele pellets) inngå i dietten. Fôrspill utgjør anslagsvis mindre enn 5 % av fôret som benyttes i norsk lakseoppdrett (62). Det er sannsynlig at en betydelig andel av dette synker til bunn så raskt at det ikke vil være tilgjengelig som matkilde for blåskjell som dyrkes ved siden av anlegg/merd. Likevel er det vist økt tilvekst hos blåskjell dyrket i nærheten av fiskeoppdrettsanlegg, som tilsier at blåskjellene klarer å utnytte seg av enten fiskefekalier, rester av spillfôr eller begge deler. Skjellenes evne til å utnytte organisk materiale fra oppdrett er også påvist ved økt biomasse av bløtdel og inkorporering av ikke-marine fettsyrer fra fiskefôret hos blåskjell dyrket i nærheten av oppdrettsanlegg (36). Forsiktlige anslag antyder at 0,6 – 1,8 % av utslipp av organisk karbon omsettes til vekst av blåskjell (Reitan, KI. NTNU). Blåskjell må antagelig stå innenfor 100m avstand til fiskeoppdrettsmerdene for å utnytte fiskefekalier og spillfôr som en del av kosten (47).

Blåskjell har evnen til å filtrere ut fôrspill og fiskefekalier fra vann med høy effektivitet (58,63), spesielt i perioder der nivå av naturlig mattilgang på planteplankton er lavt (sesongvariasjon, naturlig lavere planktonkonsentrasjon under høst og vinter). Under høst og vinter utgjør fôrspill og fiskefekalier trolig en økende andel av blåskjellens diett og evne til å rense ut organisk materiale fra fôret fisk vil antagelig være høyere enn under vår og sommer (36). Det er også påvist økt filtreringsrate (økt rensing av vannet) som respons på



Figur 12 Filtreringseffektivitet hos blåskjell av kommersiell størrelse avhengig av blåskjelltetthet og vannstrøm (A). Antall etterfølgende dyrkingsenheter som er nødvendig for at blåskjell skal fjerne 50 % av partiklene i vannet ved varierende blåskjelltetthet og vannstrøm (B). Hentet fra Cranford m.fl. 2013 (11).

økende nivå av spillfôr (63).

Blåskjellenes evne til å ta opp fødepartikler fra vannet vil bestemme hvor effektive de vil være til å ta opp små fôrrester og fekalier fra den fôrede fisken og således hvor effektive de er som bioremediering i IMTA og hvilken positiv miljøeffekt de derfor vil ha. Vannstrømmen gjennom, og tettheten av blåskjellene i dyrkingsanlegget vil være av størst betydning for hvor stor andel av vannet de filtrerer, og da også hvor mye partikler de filtrerer ut (Figur 12 Filtreringseffektivitet hos blåskjell av kommersiell størrelse avhengig av blåskjelltetthet og vannstrøm (A). Antall etterfølgende dyrkingsenheter som er nødvendig for at blåskjell skal fjerne 50 % av partiklene i vannet ved varierende blåskjelltetthet og vannstrøm (B). Hentet fra Cranford m.fl. 2013 (11)., ref 11). Dette vil igjen bestemme hvilken biomasse med blåskjell som må være tilstede rundt en merd og bli truffet av «partikkelskyen» som kommer ut av den for at de skal kunne ta opp utslippene på en effektiv måte. Ett «blåskjellnett» vil kunne klare å fange opp litt under 1 % av partiklene i vannet på en god lokalitet for fiskeoppdrett (vannstrøm 8 cm/s). Det vil da være nødvendig med ca 60 etterfølgende blåskjellnett med en tetthet på 1000 individer per m<sup>2</sup> for å fange opp halvparten av alle partiklene i vannmassene (11). 60 slike etterfølgende nett hver med 1000 blåskjell per m<sup>2</sup> fremstår som utopisk og vil i det minste legge store bremsere på vannstrømmen gjennom systemet. Dette vil igjen kunne øke opptaket av partikler hos skjellene, men vil antagelig føre til for dårlige oksygenforhold for den fôrede fisken og er derfor uaktuelt. Med samme blåskjelltetthet vil 12 etterfølgende nett kunne ta opp ca 10 % av organiske partikler i vannet. Det virker som et mer realistisk estimat, selv om også dette antagelig vil legge begrensninger på vannstrømmen. Et annet aspekt i denne vurderingen er den synkende konsentrasjonen av føde for blåskjellene gjennom anlegget. Dersom det legges opp til at blåskjellene skal fange en stor andel av partiklene, vil det bety at de blåskjellene som er plassert bakerst (i forhold til vannstrømmen) vil få kraftig redusert innhold av plankton og partikler i vannmassene. For blåskjellene tilsvarer dette mindre mat, som igjen kan få utslag i dårlig vekst eller stagnasjon i veksten. Det vil igjen føre til usynkron produksjon i anlegget og variabel størrelse og kvalitet ved høsting.

## INTERAKSJON MED PLANKTON

Filtrerende skjells naturlige føde er plankton og partikulært materiale som finnes i de frie vannmassene (57). I store nok konsentrasjoner vil de derfor kunne redusere eller utarme bestander av plankton gitt riktige forhold (56). Undersøkelser i IMTA-systemer eller rene blåskjelldyrkingsanlegg viser derimot at effekten på partikulært materiale og plankton i realiteten er beskjedne (22,58) eller fraværende (59) under reelle forhold. Ved en stor oppskalering av anleggstørrelsene vil det bildet kanskje forandre seg, men det er vanskelig å forutsi. Dette er derimot ikke den eneste påvirkningsmekanismen fra skjelldyrkingsanlegg på planktoniske organismer.

Opptakseffektiviteten til de filtrerende artene kan ha betydning for effekten av fiskefekalier og fôrrester på zooplankton. Siden partiklene synker og fjernes fra det pelagiske systemet etter nokså kort tid er effektene av økt næringstilgang for zooplankton moderate i monokultur (5,10). Partikkelmengden vil kunne reduseres noe av de filtrerende artene, men når utgangspunktet er

moderat effekt og opptakseffektiviteten hos skjell antas å være nokså lav (11) vil forskjellen mellom IMTA og monokultur antagelig være liten.

Fekalier fra laksefisk synker med 1-10 cm/s (2,64). Det er jevnt over raskere enn for fekalier fra blåskjell som synker med ca 1 cm/s (43). Oppholdstiden i de frie vannmassene blir derfor lengre for blåskjellfekalier enn fiskefekalier og kontakttiden med planktonet tilsvarende større. Med økende andel fiskefekalier og fôrrester i blåskjellets diett vil også innholdet av organisk materiale i blåskjellfekaliene øke (65). Blåskjellfekaliene vil da få en større næringsverdi for zooplankton og potensielt også større påvirkningsevne. Det er derimot sannsynlig at blåskjellfekaliens synkehastighet også vil øke med økende organisk innhold (på grunn av økende tetthet) og således motvirke effekten. Mengden næringsstoffer i blåskjellfekalier som stammer fra fiskefekalier og fôrrester vil uansett være redusert sammenlignet med utgangspunktet. Blåskjellene vil derfor bidra til å redusere næringsutslipp fra systemet så lenge dietten inneholder en stor nok andel utslipp fra den førede arten. Som nevnt har denne mengden blitt estimert til 10-20 % av dietten til skjellene (22).

Løste, uorganiske næringsstoffer fra føret fisk har størst påvirkning på det pelagiske økosystemet gjennom potensialet for eutrofiering gjennom økt vekst av planteplankton (7,40). Skjell vil også skille ut noen av de samme næringssaltene, men vil samtidig fjerne planteplankton fra vannmassene. Netto effekt er her vanskelig å forutsi eksakt, men på grunn av energitap gjennom næringskjeden vil utskilt mengde næringsstoffer neppe overstige det som tas inn i form av planteplankton. Blåskjellene vil også konsumere planteplankton og da bidra til å redusere effektene av eventuell eutrofiering gjennom å motvirke oppblomstringer av planteplankton.

## AVFALL OG UTSLIPP

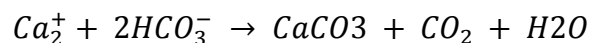
På tross av at blåskjell ikke føres spesifikt produserer de også fekalier som vil bidra med betydelige mengder organisk materiale til bunnmiljøet. Effektene vil ligne på effektene vi i dag kjenner godt fra lakseoppdrett som kartlegges gjennom MOM-undersøkelsene. Det må antas at tilsvarende krav vil gjøres gjeldene også for blåskjell dyrket i IMTA. Det som blir avgjørende for miljøkonsekvensen er om skjellene tar opp en større mengde overskuddsnæring fra fisken enn de selv skiller ut. Her vil andelen fiskefekalier og spillfôr i dietten være av avgjørende betydning. Hvis skjellene kun spiser sin naturlige føde, plankton og partikler som er naturlig tilstede i vannmassene, vil de ikke ha noen miljøforbedringseffekt. De vil da heller bidra med løste næringsstoffer og synkende partikulært materiale til økosystemet. Synkehastigheten til blåskjellfekalier øker med størrelsen på skjellet (65). Den effekten vil bidra til at påvirkningen på det pelagiske økosystemet synker ettersom skjellene vokser og motsatt for det bentiske systemet. Det er også sannsynlig at fekalieproduksjonen vil øke med økende skjellstørrelse, som igjen vil føre til en økt bunnpåvirkning ettersom skjellene vokser. Blåskjell filtrerer sjøvann og kan dermed ha en reduserende effekt på forekomst av partikler i de frie vannmassene. En betydelig del av de filtrerte partiklene blir derimot ikke tatt opp og bygd inn i biomassen, men frastøtes i form av pseudofekalier. Kombinert med skjellenes normale fekalier omdanner blåskjell nær svevende partikler til synkende organisk partikulært materiale og fører til en økt næringsoverføring fra det pelagiske til det bentiske miljøet (66).

## FRAFALL AV SKJELL

Under dyrking av blåskjell vil det normalt falle av både levende og døde skjell som følge av fysisk slitasje fra vind, bølger og høsting, predasjon fra for eksempel ærfugl og plasskonkurranse med andre blåskjell og påvekstorganismer. Dette frafallet kan ha et betydelig omfang og vil nesten utelukkende påvirke det bentiske miljøet. I New Zealand har det blitt registrert opptil 55 % dekking av bløtbunn med levende og døde skjell under blåskjellanlegg (67,68). Både døde og levende skjell bidrar med fast struktur til ellers myk og flat bunn. I de mengdene som er rapportert fra New Zealand vil de kunne bidra til at bunnmiljøet skifter fra bløtbunn til hardbunn ved at arter som normalt assosieres med hardbunn klarer seg. Dette vil igjen kunne øke artsdiversitet og produktivitet i området, men vil også fortrenge naturlig forekommende bløtbunnsfauna. Det er også mulig at de artene som tiltrekkes av nedfallene blåskjell vil kunne føre til økt predasjonspress på den opprinnelige faunaen, noe som vil forverre effektene.

## CO<sub>2</sub>-OPPTAK OG LAGRING

I skjellenes skall innlemmes CO<sub>2</sub> som en kalkforbindelse (CaCO<sub>3</sub>) som i stor grad avsettes på bunnen når dyrene dør. På tross av hva man kan forvente vil denne reaksjonen føre til en (svak) netto produksjon av CO<sub>2</sub> og økt havforsuring (ref 44; Figur 12). Derimot drives skjelldyrking hovedsakelig for å produsere mat (eller fôrråvarer) og karbonlagringen må da sees på som et biprodukt av dette (70). I et CO<sub>2</sub>-regnskap for skjell må da også dette hensynet inn, i tillegg til andre økosystemtjenester som skjellene bidrar med. Gitt at en skal drive oppdrett av blåskjell, østers eller kamskjell vil det uansett fanges karbon i skjellene deres som er tilgjengelige for lagring.



Figur 13 Reaksjonsligning for avsetning av CO<sub>2</sub> (som HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) i skjell hos bløtdyr m.fl. Reell CO<sub>2</sub>-produksjon er i virkeligheten 0,03 mol per mol CaCO<sub>3</sub> produsert på grunn av CO<sub>2</sub>-buffering i vannet. Fra Andersen m.fl. 2014 (69).

## TUNIKATER

Tunikater er også vannfiltrerende organismer som produserer organisk avfall i form av fekalier. Både de positive og negative effektene av tunikater vil antagelig ligne det som kommer fra blåskjell, bortsett fra den fysiske strukturen som blåskjell bidrar med til bunnpåvirkning, siden tunikater ikke har det samme harde skallet. På grunn av den høye filtreringsraten (71) kan det tenkes at de vil være mer effektive enn blåskjell til å fjerne organisk partikulært materiale fra vannmassene. Det har ikke lyktes å finne noe vitenskapelig litteratur på bruk av tunikater i IMTA.

## BUNNDYR

Bunndyr vil ha desidert størst påvirkning på det bentiske miljøet, i både positiv og negativ retning. Det er gjort lite forskning på teknologi og biologi knyttet til produksjon av bunndyr relevant for IMTA med åpne merder under norske forhold. Bunndyrenes miljøpåvirkning vil også variere mye med lokalitet og bunnforhold. Det trengs mer forskning og utvikling for å kunne ta i bruk bunndyr i IMTA i kommersiell skala. De fleste undersøkte bunndyrene kan utnytte fôrrester og fekalier fra fisk som en del av kosten. Derimot spriker resultatene mellom studier og arter når det kommer til hvor stor andel av kosten utslippene kan utgjøre, samtidig som god vekst, helse og velferd hos bunndyrene ivaretas. På grunn av bunndyrenes forskjellige biologiske nisjer er det mulig at en kombinasjon av arter, for eksempel en åtseleter (krepssdyr), en sedimentspiser (sjøpølse) og en herbivor (kråkebolle), vil gi den beste effekten. Det vil etterligne et økosystem på en bedre måte og potensielt ta hånd om et variert nedfall (fôr/fekalier fra fisk, skjell og makroalgedeler) i et IMTA-system sammenlignet med enkeltarter. Her gjenstår det derimot mye forskning og utvikling før det er mulig å konkludere.

## BENTISK PÅVIRKNING

Mens løste stoffer og små partikler vil flyte lenger og kunne ha effekt i den øvre delen av vannsøylen og bunnen utenfor anlegget, vil store, organiske partikler synke raskt til bunnen rett under, eller i nærheten av anlegget. Dette gir et stort potensial for resirkulering av avfall ved å dyrke bunnlevende (ekstraktive-) organismer som krepssdyr, børstemark, kråkeboller og sjøpølser. Det er mulig at det blir nødvendig med flere næringsledd for å få en god nedbrytning og omdanning av fôrrester og fekalier fra fisk og inkorporere dette i høstbar biomasse. Norske forhold byr også på teknologiske utfordringer knyttet til dyp og høy vanntransport på oppdrettslokaliteter. Som for skjell vil effekten av bunndyrene i IMTA være avhengig av i hvor stor grad de er i stand til å utnytte partikulært organisk materiale fra de andre artene sett i sammenheng med hvor mye de slipper ut. Avhengig av størrelsen på bunndyreffekten kan det også hende at mindre eksponerte lokaliteter, som ikke er brukbare for fiskeoppdrett i Norge i dag vil kunne tas i bruk. Noe svakere strøm vil også bety økt kontakttid mellom næringsstoffer og de andre IMTA-komponentene, som igjen vil kunne øke den totale ressursutnyttelsen i systemet. Det vil også være en fysisk effekt av både installasjoner som kreves for oppdrett av artene på bunnmiljøet og av bunndyrenes adferd og metabolisme. Dette har blitt veldig lite studert og det er derfor vanskelig å angi potensielle for negativ påvirkning. Det vil også variere med dyrkingsmetode, da bur hengende under merder antagelig vil ha en mindre direkte effekt på bunnmiljøet enn bunndyrking.

For at en art skal fungere godt i et IMTA-system er det viktig at den klarer å nyttiggjøre seg av den tilgjengelige næringen som kommer fra den fôrede arten. Den må ikke bare kunne innta rester av fekalier og fôr, men også bryte dette ned og omsette det til biomasse på en effektiv måte. Her vil forskjellige arter ha forskjellig evne, bestemt av artens naturlige diett, fordøyelse og adferd. Fôrrester vil antagelig kunne utgjøre en nokså stor del av dietten til noen bunndyr, mens



det kan tenkes å bli for næringstett for andre. Samdyrking av flere bunndyr vil derfor kunne bidra til videre ressursutnyttelse.

Bunndyr som oppdrettes direkte på bunnen vil også interagere med det lokale bunnmiljøet på en måte som vil være veldig annerledes enn dagens fiskeoppdrett. Det er mulig å se for seg en rekke forskjellige scenarier for hvordan bunndyr skal oppdrettes, men tre løsninger utpeker seg som mest aktuelle:

- 1) Oppdrett i lukkede nettingbur (eventuelt med tett gulv) som henger i vannmassene under fiskemerdene.
- 2) Oppdrett på bunnen med fysisk avgrensning av leveområdet med for eksempel bur.
- 3) En form for «sea ranching» der dyrene ikke sperres inne på et område, men tilbys fordeler som ly/skjul (kunstig rev) og økt næringstilgang (organisk materiale fra fisken) og derfor blir værende i området.

Variant 1 og 2 må basere seg utelukkende på utsett av dyr, mens den siste også kan koloniseres naturlig og vil ha et kontinuerlig tilsig og frafall av individer. Det vil kanskje være bedre egnet som et tiltak for å styrke ville bestander av for eksempel hummer enn for oppdrett myntet på direkte høsting.

## OPPTAK OG OMSETNING AV ORGANISK MATERIALE

### SJØPØLSER

Sjøpølser er ettertraktede som matvarer i Asia og det har vært et økende fiskepress etter de forskjellige artene de siste tiårene med tilsvarende bekymring for mange bestanders tilstand (72). Oppdrett av sjøpølser er allerede relativt utbredt i varmere strøk (73–75). En videre økning i produksjonen ved hjelp av IMTA-metoder vil forhåpentligvis kunne lette noe av fisketrykket og bidra til gjenoppretting av de ville bestandene.

I fôringsforsøk er det vist at de har god evne til opptak av fôrrester og fekalier fra havabbor, og at de kan redusere nitrogen- og karbonbelastningen på det bentiske miljøet (76). De vokser godt på fekalier og fôrrester under oppdrettsanlegg for «sabelfisk» (*Anoplopoma fimbria*) der de også kan redusere belastningen av organisk karbon og nitrogen fra fiskeoppdrettet med 60 % (77). Sjøpølser er vurdert som effektive til å fjerne organisk påvirkning fra fiske- og skjelloppdrett på bentos med henholdsvis 86 og 99 % i modelleringsforsøk (78). Sjøpølser vokser godt på organisk avfall fra skjelloppdrett i både laboratorieforsøk (79) og ved utsett under oppdrettsanlegg (79,80). Sjøpølsene vokser dårligere ved høye tettheter i bur under skjell- og fiskeoppdrettsanlegg, med konsekvent best vekst ved den laveste undersøkte tettheten i de aktuelle studiene (79,81–83). Dette kan føre til en nødvendig avveining mellom maksimal vekst for sjøpølsene og maksimal omdanning av organisk materiale i IMTA siden økt antall individer også vil øke den totale omdanningen selv om hvert individ vil vokse saktere på grunn av næringskonkurranse. Sjøpølser kan redusere totalt organisk karbon og øke nedbrytning av klorofyll (mikroalger) i sediment under skjellanlegg, men det knyttes usikkerhet rundt faktisk økologisk signifikans grunnet liten effekt (84). Det er altså svært sprikende tall på sjøpølsenes evne til å redusere den organiske belastningen på bunnmiljøet under fisk- og skjelloppdrettsanlegg. Dette kan nok skyldes stor variasjon i den organiske belastningen i utgangspunktet, forskjell i artene som har blitt brukt og

tettheten av disse, dyrkingssystemene (for eksempel suspendert i kasser eller inngjerdet på bunn) og total biomasse sjøpølser. Det er naturligvis nødvendig med en større mengde bunndyr for å ta opp en større organisk belastning som kommer fra et fiske- eller skjelloppdrettsanlegg med stor biomasse enn fra et anlegg med liten biomasse.

## KRÅKEBOLLER

Kråkeboller beiter på makroalger og deres fremmarsj langs norskekysten har fått skylden for tap av store tareskogområder, spesielt i Nord-Norge (85). Kråkebollenes diett er i naturen dominert av makroalger og de vokser bedre på makroalger enn blåskjell (86). Derimot har andre funnet at kråkeboller utnytter organisk materiale fra fisk like godt som makroalger (87), så det er ikke lett å konkludere på dette punktet. Kråkebollene vil uansett kunne være aktuelle i IMTA siden de enten kan utfylle andre bunndyrs nisje, eller være et alternativ til de andre bunndyrene for nedbrytning av organisk materiale. Dersom det er betydelig nedfall fra makroalgekomponenten kan kråkebollene vise seg essensielle siden de kan være de eneste av de aktuelle bunndyrene som evner å konsumere store makroalgedeler.

## KREPSDYR

Selv om krepsdyr ofte nevnes som arter med stort potensiale i IMTA er det gjort lite forskning på egnethet og bioremedierende effekt i IMTA. Taskekrabbe, europeisk hummer og sjøkreps kan være aktuelle arter for IMTA i Norge, men det har ikke lyktes å finne litteratur om egnetheten av disse til IMTA. Det er verdt å nevne at hummer og taskekrabbe er arter som normalt finnes på hardbunn, og derfor antagelig vil egne seg best i et slikt miljø, mens sjøkrepsen normalt lever på bløtbunn.

Amerikansk hummer kan utnytte avfall fra blåskjellanlegg, men hadde dårlig vekst og kondisjon etter 6 måneder på en diett av kun av dette. De trenger sannsynligvis også annen næringstilførsel om de skal fungere som en komponent i et IMTA-system (88) og man må forvente det samme for europeisk hummer.

## FLERBØRSTEMARK

Flerbørstemark nevnes ofte som kandidater til IMTA-komponenter. Vi har ikke lyktes med å finne publisert vitenskapelig litteratur på deres funksjon eller miljøeffekt i IMTA med åpne merder i saltvann. De er små sammenlignet med de andre bunndyrene og det kan derfor være teknisk vanskelig å oppdrette dem knyttet til åpne merder i sjøen. De vil lett kunne rømme gjennom maskene i nett/gjerder eller bur som holder andre dyr innesperret. Noen arter er også mer mobile og vil kunne svømme over tette hindre som for eksempel vegger på bunnen. Pågående forskning fra Havforskningsinstituttet tyder derimot på at det er mulig å holde visse typer i bur og at de vokser godt på fiskefekalier (personlig kommunikasjon med Pia K. Hansen, 2017). Børstemark kan også godt tenkes å spille en rolle i andre former for integrert oppdrett enn det som omtales i denne miljøkonsekvensutredningen, for eksempel i lukkede resirkuleringssystemer med flere arter.

## DYRKINGSTEKNOLOGI

Oppdrett av bunndyr vil kreve utvikling av ny teknologi samt en del utredning og innovasjon på hvilke løsninger og metoder som fungerer best. Forskjellige løsninger inkluderer om bunndyrene skal henge i bur under merdene eller være på bunnen og om de skal være avgrenset av gjerder/kasser eller fritt bevegelige. Det er sannsynlig at vi vil se utprøving av en rekke forskjellige løsninger, og kanskje også utstrakt bruk av flere løsninger når IMTA er mer utviklet. Generelt kan det antas at suspenderte bur under merdene vil føre til en betydelig mindre påvirkning på det bentiske miljøet siden en effektiv næringsekstraksjon vil fjerne organisk materiale før det kommer i kontakt med sedimentene, samt at bunndyrenes atferd heller ikke vil forstyrre bunnmiljøet. Selv om mange av de aktuelle artene vil kunne hentes lokalt og ikke innebære noen genetisk rømmingsrisiko vil de antagelig ikke være hjemmehørende i bunnmiljøet under merdene i de tetthetene som er aktuelle for IMTA. Dette vil utvilsomt påvirke bunnmiljøet, men det er vanskelig å tallfeste eller finne grenseverdier for hvilke tettheter som kan aksepteres siden det er gjort lite forskning på området.

## HØSTING AV BUNNLEVENDE ORGANISMER

Dersom bunndyrene oppdrettes direkte på havbunn vil høsting påvirke bunnmiljøet fysisk. Bunntype og høstingsmetode vil være avgjørende; maskinell høsting vil antagelig ha større påvirkning på bløt- enn hardbunn, men dette vil avhenge sterkt av metode. Bruk av trållignende høstemekanismer på hardbunn vil også kunne være svært ødeleggende. Ved oppdrett på bløtbunn vil høsting føre til omrøring og resuspensjon av sediment. I hvor stor grad dette skjer vil være avhengig av den spesifikke høstingsmåten.

Det er rimelig å anta at høsting av bunndyr oppdrettet i bur eller kasser som henger i de frie vannmassene under merder eller skjellanlegg (hengende oppdrett) vil ha en mindre påvirkning på bunnmiljøet enn ved oppdrett direkte på bunnen. I hengende oppdrett kan burene tas opp uten fysisk påvirkning på bunnen. Avriving og nedfall av påvekstorganismer samt tap/rømming av bunndyr vil da være de eneste påvirkningene høstingen har på bunnmiljøet.

## PELAGISK PÅVIRKNING

Det finnes mekanismer som vil gi påvirkning fra bunndyr på det pelagiske økosystemet: resuspensjon av sedimentert materiale som følge av dyrenes adferd, tilførsel av løste næringsstoffer fra bunndyrenes metabolisme, fordøyelse og ioneregulering, samt remineralisering (69). Derimot vil dette antagelig være av nokså beskjeden karakter sammenlignet med effektene fra den førede arten og de filtrerende artene, samt bunndyrenes påvirkning på det bentiske økosystemet. Ved omsetting av store organiske partikler som fôrpellets og fiskefekalier vil noen av nedbrytningsproduktene være tilgjengelige for pelagiske arter, spesielt dersom upwelling brukes for å øke produksjonen i systemet ved at løste næringsstoffer transporteres fra dypet og opp i den eufotiske sonen. Dette vil i hovedsak ligne på effektene fra løste næringsstoffer fra de andre komponentene i systemet. Bidraget vil antagelig være betydelig mindre enn fra den førede arten på grunn av mindre biomasse og tilgjengelig føde for bunndyrene siden disse livnærer seg på avfallet fra den førede arten.

## SMITTE, MATTRYGGHET OG DYREVELFERD

I IMTA samdyrkes flere arter fra ulike trofiske nivå. Vi må derfor vurdere aspekter av biosikkerhet som er spesielle for en slik produksjonsmodell sammenlignet med dagens monokultursystemer. Det er da nødvendig å samle eksisterende kunnskap samt påpeke kunnskapsmangler og innhente ny kunnskap om smitteveier og mulig risiko for smitteoverføring mellom de artene som planlegges brukt i IMTA, og til ville arter. I likhet med konvensjonelle produksjonssystem vil sykdom i mange tilfeller kunne forebygges med riktige tiltak. Vi vil i dette kapittelet også foreslå tiltak for god velferd og biosikkerhet. Videre vil vi diskutere mulige effekter av økt biomasse på en lokalitet. Økt biomasse kan føre til redusert fiskevelferd og fiskehelse som følge av redusert vannkvalitet, selv om det ikke forekommer smittestoffer. Redusert vannkvalitet kan også gjøre organismer mer mottagelige for smitte og medføre økt risiko for utvikling av sykdom. Til slutt handler dette kapittelet om påvirkning av legemiddelbruk på dyr, planter og miljø og mattrygghet. Vi må også peke på hensyn som må vurderes avhengig av om produktene fra IMTA-systemet skal benyttes til humant konsum, til dyrefôr eller for eksempel biodrivstoff.

På grunn av kunnskapsmangel og lite erfaring med IMTA under norske forhold er det vanskelig å si noe konkret om smittefare mellom de forskjellige artene. For enkelte arter er det gjort noen studier, men det gjenstår fortsatt mye før det vil være mulig å gi gode råd på spesifikke artskombinasjoner og produksjonsformer som har lav eller høy smittefare. Få studier viser derimot smitte mellom arter under reelle forhold. Risikoen for at slikt oppstår antas å være svært liten, men føre-var prinsippet tilsier at overvåkingen av IMTA må ta høyde for å oppdage slikt raskt hvis det oppstår.

### **Anbefalinger:**

- Vi trenger økt kunnskap om opptak av legemidler og fremmedstoffer, samt akkumulering av disse i makroalger, skjell, krepsdyr, flerbørstemark og pigghuder.
- Vi trenger økt kunnskap om smittepotensialet mellom arter og spredning til ville populasjoner.
- Utvide forskriftene til å inkludere alle arter i IMTA-systemene, ikke bare fisk.
- Kun bruke IMTA-arter til andre formål enn dyrefôr og humant konsum ved usikkerhet knyttet til mattrygghet.
- God overvåking av forekomst av legemidler og fremmedstoffer i alle arter som produseres i IMTA.

## INFEKSJONSSYKDOMMER OG ARTSSPESIFISITET

På generell basis kan en skille grovt på risiko for smitte og dermed på spesielle hensyn som bør tas/vurderes for de forskjellige smittestoffene. De ulike agens (smittestoffer) som kan forårsake sykdom kan imidlertid ha svært ulike egenskaper og bør derfor vurderes separat. Parasitter er generelt artsspesifikke. Problemstillinger knyttet til parasitter vil være ulike avhengig av hvorvidt parasitten har hele sin livssyklus hos den aktuelle arten eller trenger én eller flere mellomverter. I vurdering av risiko knyttet til bakteriesmitte må en skille mellom spesifikke patogene bakterier og

opportunister som kan gi sykdom under spesielle forhold. Virus er, som parasitter, generelt artsspesifikke. Det finnes derimot subtyper av for eksempel infeksiøs pankreasnevrosevirus (IPNV) og nodavirus hos ulike arter. Et eksempel på artsovergripende virus er viral hemorhagisk septikemivirus (VHSV) som har forskjellige genotyper med forskjellige artspreferanser og varierende grad av virulens (evne til å gi sykdom) hos ulike arter. Det er viktig å presisere at selv om de ulike artene i et IMTA-system ikke har felles sykdommer, kan de fungere som bærere (vektor) av en type agens, eller omvendt fungere som barrierer for sykdom. Videre vil en ved å blande arter i teorien øke risikoen for at uskyldige agens utvikler patogenitet. Nye sykdommer må en også være forberedt på med nye arter i oppdrett selv om det ikke nødvendigvis har noe med IMTA å gjøre.

## SMITTEVEIER, AGENS OG RESERVOAR

Svært lite er beskrevet om smitte og vektorer mellom de forskjellige artene i IMTA. Det finnes en del studier på hva som skjer med fiskepatogener når de kommer i kontakt med forskjellige typer skjell, men resultatene er svært sprikende. Få studier viser smitte mellom arter under reelle forhold. Risikoen for at slikt oppstår er svært liten, men føre-var prinsippet tilsier at overvåking av IMTA tar høyde for å oppdage slikt raskt hvis det oppstår.

## MAKROALGER

Det finnes generelt lite kunnskap om forekomst av sykdom hos alger, og det er derfor vanskelig å vurdere risiko knyttet til samdyrking av alger med andre organismer som filtrerer vann, sammen med fisk. Agens som er felles for planter og dyr er ikke beskrevet og er lite sannsynlige. Det er vanskelig å se for seg tare som et reservoar for smittestoffer som forårsaker sykdom hos laks eller skjell, eller vice versa. For å få kunnskap om dette må det gjennomføres laboratorieforsøk, der det eventuelt også kan vurderes om det er risiko knyttet til om agens kan «overleve» på alger slik at alger kan utgjøre en form for smittebærer (passiv vektor).

Når det gjelder smitte mellom naturlig forekommende/ville alger og alger som blir dyrket i IMTA-system, vil dette kunne forekomme begge veier. Det vil derfor være viktig å ha fokus på lokal produksjon av biologisk materiale, ikke bare for å unngå genetisk påvirkning, men også for å unngå innføring eller transport av smitte.

## SKJELL

Filtrerende organismer som skjell og sekkedyr/sjøpunger tar til seg næring ved å filtrere og ta opp partikler fra sjøvannet. I tillegg til næringsstoffer vil de i denne prosessen også kunne ta opp agens som er potensielt sykdomsfremkallende. På den måten kan filtrerende organismer i IMTA kunne fungere enten som barriere eller renseanlegg, eller som bærer eller reservoar for ulike patogener. Det eksisterer ikke litteratur på forholdet mellom sekkedyr/sjøpunger og agens for fisk, og kapittelet fokuserer derfor på skjell.

I den perioden det er drevet oppdrett av skjell i Norge har en ikke hatt sykdomsproblemer på skjellene. Det er mye kunnskap om skjellenes evne til å fordøye smittestoffene, slik at de etter en

periode blir rene med tanke på humant konsum. I land med forurenset oppdrettsvann stilles det krav om at skjellene må gå seg rene i annet vann før de kan selges til konsum. Disse bestemmelsene er der fordi skjell kan inneholde bakterier som er sykdomsframkallende i mennesker. For å få i seg denne smitten må skjellene spises. Skjell oppdrettet sammen med laks eller annen fisk i IMTA er mer komplisert, og flere nye problemstillinger dukker opp:

- Kan skjell være et smittereservoar for eksisterende og nye sykdommer?
- Hvor sterk er artsspesifisiteten for smittestoffer mellom nærstående arter?
- Kjenner vi til fiske sykdommer der smitten kommer fra andre typer organismer?
- Hvilke hensyn er spesifikke for skjell tiltenkt humant konsum sammenlignet med skjell tiltenkt bruk i fôr til fisk eller husdyr?

I skjell vil smittestoff kunne transporteres via hemocytter («blodceller» med intracellulære fordøyelsesprosesser), fekalier der partiklene passerer fordøyelsessystemet eller pseudofekalier, der partiklene skilles ut fra gjellene uten å ha passert tarmen. Som tidligere omtalt har patogener både ulik motstandsevne mot nedbrytning samt ulik skjebne etter opptak i skjell. Det vil igjen påvirke risiko for smitte. Dette må vurderes for alle patogener som kan utgjøre en smittefare i ulike IMTA-system (89).

Verdt å merke seg er også at dagens oppdrett av laks i praksis ikke utelukkende er en monokultur. Oppdrettsanleggene begros også av påvekstorganismer og det brukes forskjellige leppefiskarter og rognkjeks til å holde lakselus i sjakk. Av påvekstorganismer er blåskjell blant de vanligste. Dersom blåskjell utgjorde en stor smittefare eller et stort reservoar for agens ville dette antagelig hatt en effekt tidligere, men det har ikke blitt registrert. Det er selvfølgelig en vesensforskjell i biomasse mellom påvekstblåskjell og dyrkede blåskjell. Det igjen kan spille en rolle for hvorvidt de reelt vil fungere som en vektor for agens eller ikke.

## PARASITTER

### ***Amoebic gill disease (AGD) forårsaket av *Paramoeba perurans*:***

AGD forårsakes av den frittlevende marine parasitten *Paramoeba perurans*, og forårsaker store, økonomiske tap i de fleste land som driver med lakseoppdrett. En undersøkelse gjennomført i Skottland antyder at blåskjell trolig ikke utgjør noen biosikkerhetsrisiko ved å fungere som vektor for den frittlevende parasitten, men tvert imot fungerer som et biofilter fordi de bidrar til redusert forekomst av *Paramoeba sp.* (90).

### ***Lakselus (Lepeophtheirus salmonis):***

Det er vist gjennom flere forsøk at ulike typer skjell kan ta opp tidlige/frittlevende stadier av lakselus, og at de derfor *teoretisk* kan bidra til reduserte lusetall framfor å fungere som vektor for denne parasitten. Laboratorieforsøk viste blant annet at både blåskjell, hjerteskjell, kamskjell og østers tok opp (filtrerte) luselarver uavhengig av tilstedeværelse av planteplankton, og at sjøtemperatur ikke hadde en signifikant effekt på opptaket av larver. Størrelse på skjellene derimot var avgjørende, og store skjell tok opp signifikant mer luselarver enn små skjell (91). Blåskjell som tar opp og fordøyer lakselus er også beskrevet av Molloy m fl. (92).

Selv om disse forsøkene antyder at skjell ikke utgjør en sannsynlig bærer av lakseluslarver vil effekten som biofilter i et stort oppdrettsanlegg trolig være begrenset. Opptak av luselarver vil ha en tilsvarende effektivitet som opptak av andre partikler i blåskjell, forutsatt at de plasseres slik at de kommer i kontakt med luselarvene. Se kapittel 3.2.1 om opptak av små organiske partikler. Det kan ikke utelukkes at blåskjellgardin har en positiv effekt, med noe reduksjon av tallet på luselarver. Dersom skjellene plasseres lavere enn der laksen går, fordi partiklene som skal filtreres synker, vil det ikke ha noen betydelig effekt på tettheten av luselarver.

## VIRUS

Selv om det etter vår viten ikke forekommer felles virus-forårsakede sykdommer hos blåskjell og laks, vil skjell kunne ta opp smittestoff fra vannet, og i så måte utgjøre en smitterisiko i et IMTA-system. Virus har ulike egenskaper som tilsier at det er ulik risiko for smitte fra skjell til fisk avhengig av hvilket virus det er snakk om. Dette må derfor tas med i en risikovurdering.

### *Infeksiøs pankreasnekrosevirus (IPNV):*

IPNV er robust og viser stor evne til å motstå nedbrytning (93,94). Resultatene fra ulike forsøk og vurdering av risiko knyttet til skjell som smittebærer/vektor av IPNV er noe motstridende. I forsøk med kamskjell har det blitt vist at IPNV er tilstede og er virulente (har evne til å smitte) flere måneder etter opptak i skjellet (93,95). Dette antyder en risiko for spredning fra skjell til fisk. I likhet med kamskjell er det i forsøk med blåskjell også påvist at IPNV akkumuleres i skjellet og forblir virulente. Blåskjellet feller i sin tur virulent virus gjennom fekalier. Videre ble det i samme laboratorieforsøk vist ved smitteforsøk i kar at IPNV kan smitte fra blåskjell til laksesmolt (96). Erfaringer fra HASUT-prosjektet (Havbruk, Areal, Samordning og Utvikling i Trøndelag, 2001-2004) indikerte derimot at blåskjell ikke vil overføre IPNV til laks.

### *Infeksiøs lakseanemivirus (ILAV):*

ILAV er et kappekledd virus som er mer utsatt for nedbrytning enn det mer robuste IPNV. Skår og Mortensen (97) har vist eksperimentelt at blåskjell kan overføre smitte til laks dersom skjellene utsettes for store mengder virus. Viruset kan imidlertid ikke påvises i blåskjellet etter 72 timer. Blåskjell høstet fra tank med ILA-sjuk fisk eller blåskjell fra nøter med ILA-utbrudd inneholdt ikke ILAV. Det er vist i flere kontrollerte laboratorieforsøk at blåskjell kan ta opp og akkumulere ILAV over en kortere periode, men ILAV brytes raskt ned etter i skjellene etter opptak (98,99). Totalt sett antyder dette at det ikke er stor sannsynlighet for at blåskjell utgjør en stor risiko som smittebærere eller vektorer for ILAV.

## BAKTERIER

### *Vibrio anguillarum (forårsaker vibriose):*

Blåskjell kan fungere som et reservoar for bakterien ved at den tas opp og lagres i fordøyelseskjertelen samt i fekalier, men det er ikke påvist hvorvidt vibriose overføres fra blåskjell til fisk (100).

## BUNNDYR

Bunndyrene som omtales i denne utredningen filtrerer ikke vann på samme måte som skjell og vil derfor ikke ha samme evne til å kunne fjerne bakterier, virus eller parasitter. Dersom bunndyrene spiser fekalier fra fisk vil dette kunne føre til overføring av patogener. Spesielt aktuelt vil det være for parasitter, som kan ha bunndyrene som vert i tillegg til fisk og eventuelt andre dyr. Parasitter som kun har fisk og et av bunndyrene i livssyklusen (eventuelt bare bunndyr) vil kunne opprettholde en sluttet syklus i systemet så lenge disse er til stede. Hvis det brukes upwelling i systemet vil patogener kunne transporteres effektivt begge veier mellom fisk og bunndyr.

## MARKEDSRESTRIKSJONER

Dersom det påvises listeførte agens i lavtrofiske IMTA-arter, der også laksen regnes med blant arter som er mottagelige, kan dette få betydning i forbindelse med dokumentasjon av fristatus for visse sykdommer. Dette kan også bli et problem dersom slike agens påvises i rensefisk. I monokultur har vi i dag en smittefare mellom vill og oppdrettet fisk og det vil sannsynligvis forbli relativt uendret i IMTA. Om organismene som settes sammen med laksen er oppdrettet eller lokale ville, kan ha betydning.

## EFFEKT AV ØKT BIOMASSE PÅ VANNKVALITET OG VELFERD

Betydningen av økt biomasse i et område vil avhenge av den enkelte lokalitets bæreevne, om det er flo- og fjæredrevne strømmer eller vannet i store deler av døgnet går i samme retning. Avstand til, og dybde under oppdrettsmerd, vil kunne påvirke bæreevnen. Avhengig av hvilke trofiske nivå som oppdrettes, kan det i perioden med lyse sommernetter tenkes at IMTA vil kunne opprettholde oksygenivået i vannet og dermed kanskje bæreevnen. Bæreevnen vil også være avhengig av avstanden mellom fisken og skjell- og tareanleggene, samt dybden de er plassert på sammenlignet med merddybden. Utplassering av slike anlegg vil også være avhengig av størrelsen, både med tanke på endring av strømbildet og sedimenter på bunnen. Blåskjellanlegg nær et lakseanlegg kan føre til økt påslag av blåskjell på nøtene med redusert vanngjennomstrømning som resultat dersom jobben med vasking ikke gjennomføres i tide.

Anlegg med skjell og tare i nærheten av oppdrettsanlegg vil påvirke strømforhold og vannutskifting. Graden kommer selvsagt an på størrelsen av disse anleggene og dybden de plasseres på i forhold til oppdrettsmerdene. Blåskjell plassert i samme dybde som oppdrettsfisken vil sannsynligvis ha liten effekt fordi partiklene synker når de driver vekk fra anlegget. Dersom blåskjellanlegg plasseres dypere enn der oppdrettsfisken går, vil påvirkningen på vannkvaliteten til oppdrettsfisken sannsynligvis bli mindre. Tareanlegg vil trolig ha best effekt av å plasseres så direkte nedstrøms for fisken som mulig siden de utnytter seg av løste næringsstoffer som ikke vil synke, men kun vannes ut med avstand fra anlegget. Tareanleggene vil derfor kunne ha en nokså stor effekt på vannstrøm gjennom merdene.

I indre strøk på Nordmøre sammenfaller periodene med lavest strømhastighet og høyest temperatur på høsten. I tillegg kommer mørke netter når makroalger også forbruker oksygen.



Under slike forhold kan økt forbruk av oksygen og installasjoner som påvirker vannutskifting få større konsekvenser enn ellers i året.

## **ØKT BIOSIKKERHET, REDUSERT RISIKO OG FOREBYGGENDE TILTAK**

Kommersialisering av IMTA vil kreve mer kunnskap om utfordringer knyttet til biosikkerhet. Smitterisiko kan til dels påvirkes og forebygges (89,101,102). Det er avgjørende at en overfører kunnskap og erfaringer fra monokultur til IMTA for i størst mulig grad å forebygge smitte (102).

### **Viktige tiltak for sykdomskontroll:**

- Artsspesifisitet av agens vil trolig i stor grad redusere utfordringer knyttet til smitteutveksling, spesielt smitte mellom arter av ulike trofiske nivå.
- Opprettholde brakklegging og prinsippet om alt ut/alt inn.
  - o Artsspesifikk produksjonssesong og avvikling av de andre artene ved påvist sykdom.
  - o Avhengig av sykdom kan negativ smittetest være nok til å la for eksempel blåskjell stå i vannet ved brakklegging av øvrig lokalitet.
- Sonestruktur med hensyn til dagens smittekontroll.
  - o Begrense brønnbåttransport inn og ut av soner.
  - o Lokal produksjon av biologisk materiale for å unngå transport av sykdommer.
  - o Bruk av stedeegne arter for å unngå genetisk påvirkning, se eget kapittel.
- God vannkvalitet er avgjørende både for plassering av anlegg og plassering av konstruksjoner med biologisk materiale i forhold til hverandre.
- Etablere en tilpasset og planmessig overvåking av anleggene for forekomst av agens. Innføre rutinemessig bruk av diagnostiske verktøy.
- Selv om kunnskapen er noe fragmentert vil en kunne bruke eksisterende kunnskap om ulike patogeners robusthet, mottagelighet hos ulike arter og smittespredningsmodeller i en risikovurdering.

## **BRAKKLEGGING**

Brakklegging vil gi flere problemstillinger i IMTA enn monokultur på grunn av diversiteten og forskjellene i produksjonssyklus. Enkelte av problemstillingene må kanskje prøves ut i praksis før man finner noen god løsning. Blåskjell til menneskemat høstes normalt etter 1,5 til 2,5 år. Ved gode vekstvilkår vil en blåskjellsyklus være like lang som en laksegenerasjon i sjø som er på 18 – 20 måneder. Ved utsett av postsmolt som har 10-12 måneders syklus kommer en helt på utur med den praksisen vi har i dag med alt ut – alt inn og brakklegging av lokaliteter. Dersom stor postsmolt blir satt ut på samme lokalitet som vanlig smolt kan det også skape utfordringer for produksjonssyklusen.

Blåskjell gyter om sommeren, men perioden kan variere og det kan også den perioden som blåskjellyngelen setter seg. Dersom det blir nødvendig med yngelanlegg for å sikre at en får blåskjell når en skal starte en produksjonssyklus kan flytting av organismer bli aktuelt. Da blir både patogener og genetisk biosikkerhet utfordringer som må kontrolleres. Tare har en forholdsvis kort vekstsesong, normalt fra høst til vår, siden den ikke bør stå gjennom hele sommeren på grunn av påvekstorganismer som forringer kvaliteten. Taren har imidlertid det høyeste innholdet av karbohydrat på sensommer/høst. Hvis det lar seg gjøre å utvikle utnyttelsesformer der påvekst spiller en liten rolle for kvaliteten kan dette kanskje endres for å komme mer i slynk med de andre artene. Det kan også tenkes at samlokalisering mellom laks, skjell og tare bare bør skje i spesielle perioder i året eller at en bør unngå driftsplaner slakting i perioden august-september i integrert akvakultur.

For å få det beste samspillet mellom artene vil utsetting på samme tidspunkt være naturlig slik at alle organismene vokser med hverandre. Det betyr også at oksygenbehovet øker parallelt i alle bestandene. Midt på sommeren er det lys nok hele døgnet til at fotosyntesen pågår kontinuerlig slik at algene ikke gir noen ekstra belastning, men kanskje kan virke som et positivt tilskudd. Motsatt vil høye temperaturer og svinnende lys tidlig på høsten kunne medføre utfordringer.

Ved oppdrett av bunndyr, og krepsdyr spesielt, vil en antagelig få større utfordringer med å tilpasse produksjonssyklusen fordi de kan ha en kortere eller lengre (krepsdyr) syklus en fisk, blåskjell og tare.

## LEGEMIDLER OG FREMMEDSTOFFER

Det benyttes ikke legemidler til produksjon av lavere trofiske arter i Norge i dag. Derimot kan det finnes rester av legemidler og kjemikalier i makroalger og skjell som vokser i europeiske kystområder og tar det opp fra vannmassene (103,104). Øvrige, generelle effekter og sammenhenger basert på effekter fra oppdrettsfisk omtales ikke her. Dette behandles utførlig i Havforskningsinstituttets årlige risikovurdering av norsk oppdrett. Mattilsynet og NIFES (Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning) gjennomfører årlige overvåkinger der de tar prøver og analyserer oppdrettsfisk for legemidler og fremmedstoffer som PCB, dioksiner og tungmetaller (105). Det som behandles i dette avsnittet er derfor potensielle effekter av legemidler eller kjemikalier brukt til fisk, og kjemikalier brukt mot begroing på teknisk utstyr. Disse kan ha helt andre effekter på lavere trofiske arter som dyrkes i samme system og kan også medføre andre utfordringer for mattrygghet som følge av potensiell akkumulering av de aktuelle stoffene. En risikovurdering av et spesifikt produkt fra IMTA vil måtte ta hensyn til om de ulike organismene som blir produsert i IMTA-systemet skal benyttes til humant konsum, dyrefôr, gjødsel, biodrivstoff eller annet.

## AKTUELLE LEGEMIDLER

### ANTIBIOTIKA

Situasjonen når det gjelder sykdom forårsaket av bakterier i oppdrett av laksefisk i Norge kan fortsatt betegnes som god. Viktige sykdommer som furunkulose og vibriose, som tidligere ga

store tap, er fortsatt under god kontroll takket være omfattende vaksinasjon. Den samlede mengden antibiotika var 301 kg aktivt virkestoff i 2015 (106). Total produksjon av fisk i akvakultur var da ca 1,3 millioner tonn rundvekt (1).

Tabell 1: Legemiddelbruk til fiskeoppdrett 2006-2015 etter kategori (106).

|  | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014  | 2015  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| <i>Antibiotika, sum</i>  | 1478 | 648  | 941  | 1313 | 662  | 544  | 1591 | 972  | 511   | 301   |
| florfenikol  | 302  | 139  | 166  | 303  | 287  | 331  | 191  | 300  | 403   | 194   |
| flumekin   | 7    | 18   | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| lincomycin/spectinomycin (1:2)                                   | 50   | 66   | 70   | 43   | 57   | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| oksolinsyre  | 1119 | 406  | 681  | 926  | 308  | 212  | 1399 | 672  | 108   | 82    |
| oksyetetracyklin   | 0    | 19   | 23   | 40   | 10   | 1    | 1    | 0    | 0     | 25    |
| <i>Midler mot lakselus, sum ekskl H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> | 132  | 132  | 218  | 5516 | 6455 | 3374 | 6810 | 8403 | 12812 | 12768 |
| azametifos   |      |      | 66   | 1884 | 3346 | 2437 | 4059 | 3037 | 4630  | 3904  |
| cypermetrin  | 49   | 30   | 32   | 88   | 107  | 48   | 232  | 211  | 162   | 85    |
| deltametrin  | 23   | 29   | 39   | 62   | 61   | 54   | 121  | 136  | 158   | 115   |
| diflubenzuron  |      |      |      | 1413 | 1839 | 704  | 1611 | 3264 | 5016  | 5896  |
| emamektin  | 60   | 73   | 81   | 41   | 22   | 105  | 36   | 51   | 172   | 259   |
| teflubenzuron  |      |      |      | 2028 | 1080 | 26   | 751  | 1704 | 2 674 | 2509  |
| hydrogen-peroksid (100%) (tonn)                                  |      |      |      | 308  | 3071 | 3144 | 2538 | 8262 | 31577 | 43246 |
| <i>Midler mot innvollsorm, sum</i>                               | 172  | 95   | 91   | 29   | 11   | 137  | 423  | 460  | 625   | 942   |
| fenbendazol  | 27   | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| praziquantel   | 145  | 94   | 91   | 29   | 11   | 137  | 423  | 460  | 625   | 942   |
| <i>Midler mot sopp, sum</i>                                      | 492  | 493  | 751  | 508  | 1020 | 1003 | 1090 | 1418 | 1320  | 1733  |
| bronopol   | 492  | 493  | 751  | 508  | 1020 | 1003 | 1090 | 1418 | 1320  | 1733  |
| Malakittgrønt  | 0,9  | 0,8  | 0,6  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |

## LEGEMIDLER MOT PARASITTER

Bruken av legemidler mot lakselus har økt kraftig de siste ti årene. Mellom 2014 og 2015 var forbruket stabilt, sett bort fra hydrogenperoksid som økte med ca 30% etter årlige økninger på 2-300% de siste foregående årene. Amøbegjellesykdom (AGD) behandles hovedsakelig med hydrogenperoksid, og er også delvis grunnen til den eksplosive økningen de siste årene. I endel tilfeller behandles den AGD-smittede fisken med ferskvann og bruken av ferskvann mot AGD forventes å øke. Forbruket av legemiddelet praziquantel (mot bendelmark, *Eubotrium* sp.) har økt med ca 50 % fra 2014 til 2015 (106).

## EFFEKTER PÅ LAVERE TROFISK NIVÅ I IMTA

### LUSEMIDLER

Kitinsyntesehemmere er mye brukt som behandling mot lakselus og virker ved å forhindre skalldannelsen. Ved neste skallskifte vil lakselusene dø. Legemidlene har effekt på skalldannelsen også til andre krepsdyr enn lakselus, et tema som har vært diskutert i forhold til ville rekebestander. Ved bruk av hummer, sjøkreps, taskekrabbe eller andre krepsdyr som IMTA-arter vil dette bli en meget aktuell problemstilling. Sannsynligvis vil det i IMTA med krepsdyr bli helt uaktuelt å bruke denne typen legemidler til laks på grunn av velferden til de samdyrkede krepsdyrene. Dersom det utvikles metoder eller teknisk utstyr for å forhindre at krepsdyrene

kommer i kontakt med lakselusfôret kan det derimot la seg gjøre. Her vil antagelig oppdrett av krepsdyrene hengende i bur under merdene være betydelig enklere å håndtere enn kasser på bunn siden rask innhøsting av dyrene eller flytting av burene vil bli enklere.

Skjell og krepsdyr har begge hardt utvendig skall, men sammensetningen er forskjellig mellom artsgruppene. Mens skallet hos skjell (bløtdyr) består utelukkende av forskjellige former av kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), består skallet hos krepsdyr i tillegg av kalsiumfosfat og kitin (107). Det er derfor sannsynlig at kitinsyntesehemmere ikke vil påvirke skjell i like stor grad som krepsdyr, men det kan ikke utelukkes at det vil ha negative effekter av andre årsaker som enda ikke er kartlagt.

I tillegg til kitinsyntesehemmere brukes det også andre legemidler for behandling av lakselus, både i form av badbehandling og i fôr. Ved bruk av badbehandling kan det oppstå andre problemer enn i monokultur siden IMTA-arter som ligger nedstrøms fisken i anlegget vil kunne bli eksponert for en stor del av behandlingsdosen.

## FORBRUKSKJEMIKALIER OG MILJØGIFTER

Groehindrende midler som benyttes på merder og eventuelt annet produksjonsutstyr inneholder kobber. Fiskefôr inneholder små mengder kobber, kadmium og organiske miljøgifter som PCB og dioksiner og på grunn av de store mengdene fôr som brukes kan tilførselen til naturen være betydelig (40). Dette vil derimot skille seg lite fra konvensjonell oppdrett, men noen av effektene kan bli annerledes. På grunn av nærheten til oppdrettsmerdene kan det tenkes at skjell, tare og bunndyr kan få i seg mer kobber enn naturlig.

De som spiser fôr og fekalier fra fisk vil muligens få et økt innhold av disse stoffene sammenlignet med det som er vanlig i ville individer, men ikke nødvendigvis. Stoffene kommer til dels fra fiskemel og -olje, og det kan tenkes at innholdet i artenes naturlige diett er like høyt. En kort livssyklus i oppdrett med en relativt sett god næringsutnyttelse vil også føre til en mindre akkumulering. Forhøyede nivå av miljøgifter kan bli et problem både for de aktuelle organismene og mattrykgheten, dersom nivåene er høye nok. Dette er derimot usannsynlig ved direkte konsum siden laks i dag ikke overskrider disse grensene. Ved gjenbruk av de lavtrofiske artene som forråvarer kan det derimot oppstå problemer med bioakkumulering. Dette bør utredes nærmere.

Skjell og tare tar til seg næring ved å filtrere eller ekstrahere komponenter direkte fra sjøvann. De vil dermed kunne få i seg miljøgifter som ikke kommer fra behandlingsmidler eller fôr. Bunndyrene vil også konsumere organisk og sedimentert materiale og dermed kunne få i seg stoffer som ikke stammer fra fôret eller fisken.

## MATTRYGGHET FOR HUMANT KONSUM OG DYREVELFERD

Alle organismer som behandles med legemidler kan inneholde rester av legemiddelet. Mattilsynet og NIFES gjennomfører årlige overvåkinger der de tar prøver og analyserer oppdrettsfisk for legemidler og fremmedstoffer som PCB, dioksiner og tungmetaller (105). For å sikre trygg mat er det derfor satt maksimumsverdier for hvor mye rester av legemidler som er tillatt/trygt for konsumenten før oppdrettsfisken slaktes/ved slakt. I internasjonalt regelverk brukes uttrykket maximum residue level (MRL) om maksimumsverdi. Verdiene er basert på vitenskapelige

undersøkelser og satt på et nivå som sikrer at maten ikke er helseskadelig for forbruker og er fastsatt av EU. Dette reguleres bl.a. av *Lov om matproduksjon og mattrygghet, Forskrift om grenseverdier for legemiddelrester i næringsmidler fra dyr* og *Forskrift om bruk av legemidler til dyr* ([www.lovdata.no](http://www.lovdata.no)). Rester av legemidler forsvinner gradvis etter behandling. Tilbakeholdelsestid er tiden det tar etter behandling før det er tillatt å slakte, for å sikre at restverdier er under MRL. Dette er regulert gjennom § 5 i *Forskrift om bruk av legemidler til dyr* ([www.lovdata.no](http://www.lovdata.no)):

Dersom det ikke er fastsatt tilbakeholdelsestid for et medikament, skal veterinær eller fiskehelsebiolog fastsette en tilbakeholdelsestid som ikke er kortere enn:

- a) 7 døgn for egg
- b) 7 døgn for melk
- c) 28 døgn for kjøtt fra fjørfe og pattedyr (herunder fett og slakteavfall)
- d) 500 døgngader for fisk\*

\*Døgngader defineres som sjøtemperatur\*tid regnet i døgn. Tilbakeholdelsestid på 500 døgngader tilsvarer 33,3 døgn ved 15 °C eller 50 døgn ved 10 °C i vannet.

Legemidler lekker også ut i miljøet og kan tas opp eller akkumuleres i øvrige produksjonsdyr i samme system og i miljøet rundt. Sammenlignet med organismen som blir behandlet vil de andre IMTA-artene som oftest bli utsatt for legemidlene i fortynnet tilstand. Når legemidlene befinner seg i fôr kan bunnlevende IMTA-arter derimot bli eksponert i lik grad som fisken. I noen tilfeller vil de også kunne få en større eksponering siden de ikke har svekket appetitt som følge av sykdom. Spesielt for bunndyrkede IMTA-arter er at de kan fortsette å spise på medisinfôret en stund etter at behandlingen er avsluttet for fisken dersom ikke dette forhindres. Dersom produksjonsdyr som er samdyrket med behandlet fisk i integrerte system er tiltenkt humant konsum, bør det settes en egen tilbakeholdelsestid siden legemidler også kan akkumuleres i disse. Enkelte krepsdyr og børstemark som lever i nærheten av oppdrettsanlegg kan ha forhøyede konsentrasjoner av teflubenzuron i minst åtte måneder etter lusebehandling av fisken med teflubenzuron (108). Andre IMTA-arter kan også ha en raskere eller tregere metabolisme enn laks og tilbakeholdelsestiden bør da også være en annen. Dette er et område med store kunnskapsmangler som bør adresseres. Dersom alle artene skal høstes samtidig vil strengeste krav til MRL være gjeldene for alle artene. Utvikling av produksjonsrutiner eller teknisk utstyr for å forhindre at medisinfôr til fisk blir tilført de lavere trofiske artene vil gi større fleksibilitet for høsting av lavere trofiske arter etter medisinbehandling av fisk.

Mattrygghet og overvåking av forekomst av legemidler og miljøgifter tilsvarende det som gjøres i lakseoppdrett skal være en selvfølgelig del av et IMTA-system, uavhengig om produktene er tiltenkt humant konsum eller som råvare til dyrefôr. Erfaringer fra Canada er positive med tanke på mattrygghet i forbindelse med integrert havbruk. I en femårsperiode overvåket en forskningsgruppe i samarbeid med mattilsynet i Canada blåskjell og tare som vokste ved siden av laksemerder i Bay of Fundy. Analysene viste at konsentrasjonene av legemidler, tungmetaller, arsen, PCB og plantevernmidler enten var ikkedetekterbare eller langt under de regulatoriske rammene fastsatt av Canadian Food Inspection Agency, USAs Food and Drug Administration samt EU-direktivet (109).

Tema som omtales med tanke på miljømessig betydning, og betydning for IMTA-artene, kan også i noen tilfeller ha betydning for mattrygghet. Et eksempel er groehindrende midler som

brukes på merdene og som inneholder kobber som kan tenkes å akkumuleres i skjell, tare og bunndyr, og som dermed vil kunne ha betydning for mattryggheten. Vi mangler kunnskap om metabolisme og akkumulering av fremmedstoffer i andre IMTA-arter enn oppdrettsfisken. Noe som er forskjellig mellom blåskjell og oppdrettsfisk er at man i fisk tar ut lever og andre organer hvor fremmedstoffer kan akkumuleres, mens man i skjell spiser hele dyret bortsett fra kalkskallet.

Når det gjelder bakterier og mattrygghet, så er det for levende muslinger, levende pigghuder, kappedyr og sjøsnegler regelverk med krav om prøvetaking ved kommersiell omsetning (Næringsmiddelhygieneforskriften). I hovedsak med tanke på human fekal forurensing, er det gitt mikrobiologiske kriterier med grenseverdier for *E. coli* og salmonellabakterier for denne gruppen.

I et IMTA-system vil skjell som oppdrettes i nær kontakt med merdene filtrere vann som vil kunne tenkes å inneholde potensielt humanpatogene bakterier som oppdrettsfisken (eventuelt fôret) er bærer av. Hvis disse akkumuleres i skjell, slik man vet kolibakterier gjør, kan det være en utfordring for mattryggheten som må adresseres.

Mattrygghet i IMTA bør utredes mer enn det som gjøres i denne rapporten. Mattryggheten må overvåkes nøye ved prøveproduksjoner og under eventuelt kommersielt oppdrett.

## MARINE PATTEDYR OG FUGLER

Generelt vil påvirkningen fra IMTA-anlegg på marine pattedyr og fugler bli sammenlignbart med dagens monokulturanlegg, men økt størrelse innebærer også flere potensielt farlige elementer der dyr kan sette seg fast. IMTA-anlegg kan også være mer attraktive oppholdssteder for marine pattedyr og fugler enn monokulturanlegg på grunn av et differensiert miljø og andre dyrkede arter og derfor andre næringskilder.

Ærfugl er vanlige rundt lakseoppdrettsanlegg og ses på som en fordel siden de fjerner blåskjellbegroing fra strukturer og merder. I et IMTA-system vil de derimot bli en predator på blåskjell og kan tenkes å bli et stort problem. Det er viktig å finne måter å håndtere dette på som ikke skader ville populasjoner av ærfugl.

# GENETISK PÅVIRKNING PÅ VILLE POPULASJONER

Det mangler mye kunnskap om genetisk diversitet, stedeagne populasjoner og sårbarhet av ville populasjoner for genetisk påvirkning hos de potensielle IMTA-artene. Generelt vil et føre-var-prinsipp måtte bli rådende og derfor anbefales kun bruk av stedeagne stammer eller lokal innhenting av stamdyr til IMTA. Spredningspotensialet til enkelte av artene er svært stort, biomassen og antallet i IMTA kan bli stort, og antallet individer i de ville bestandene i nærområdet kan være varierende. Effekten av rømming eller reproduksjon i IMTA vil derfor også kunne bli stor ved bruk av ikke-stedeagne arter.

## GENERELT

Prinsippene i IMTA tilsier at artene som produseres skal være egnet for formålet og være stedeagne slik at de ikke bidrar med genetisk forurensing. Det er derfor uaktuelt å hente inn arter som normalt ikke finnes i Norge for oppdrett i IMTA (og i utgangspunktet lovstridig), men hvor stedeagne må en art være for at den skal kunne brukes, og kanskje avles videre? I tillegg vil enhver form for oppdrett over mer enn en generasjon i praksis være seleksjon som vil forandre genmaterialet sammenlignet med den ville populasjonen over tid. Desto mer intens seleksjonen er og jo lengre tid den drives, desto lengre unna opprinnelsen vil resultatet komme. For arter som reproduserer seg fritt i sjøen vil dette kunne få store konsekvenser om omfanget av produksjonen blir stor og de ville populasjonene er sårbare for genetisk påvirkning. Potensielle skadevirkninger av å innføre en ikke-stedeagne stamme eller drive målrettet avl må veies opp mot de positive effektene. I tillegg er det viktig å huske på at genetisk diversitet ikke nødvendigvis sier noe om funksjonell diversitet, selv om disse som regel har en sammenheng. Dette kapittelet vil bidra med et faktagrunnlag for hver art og noen vurderinger rundt denne problematikken.

For at en undergruppe av en art skal regnes som forskjellig fra en annen må det være tilstrekkelig forskjell, og liten grad av utveksling i arvematerialet mellom undergruppene. Dersom forskjellen er stor nok, vil undergruppene kunne sies å være forskjellige, og eventuelt stedeagne stammer eller underarter. Den Atlantiske laksen (*Salmo salar*) er et godt eksempel på dette. Populasjonen er delt inn i mange stedeagne stammer hjemmehørende i forskjellige gyteelver spredt langs kysten av Europa og Nord-Amerika. Dannelse av underarter vil kunne være starten på en differensiering til forskjellige arter over tid gitt at differensieringen fortsetter. Spredningsevnen vil her ha mye å si, siden en art med stor spredningsevne har stor sannsynlighet for å kunne få utveksling av genetisk materiale på tvers av store avstander. For marine organismer vil spredningspotensialet være avhengig av det voksne individets bevegelighet og varigheten av artens planktoniske stadium, siden avkom kan spres over store avstander med havstrømmene om planktonstadiet varer lenge nok (75).

Makroalger og havbørsteormer (flerbørstemark) skiller seg ut ved å ha en stor grad av genetisk differensiering sammenlignet med andre artsgrupper. Pigghudene og krepsdyrene ligger omtrent på gjennomsnittet, mens fiskene og bløtdyrene har mindre genetisk differensiering enn snittet (Figur 14). Dette er ikke nødvendigvis talende for situasjonen for en enkelt art innenfor hver gruppe, men kan gi et generelt bilde der det mangler litteratur på artsnivå. Hos en art med liten

grad av differensiering vil det være få genetiske forskjeller mellom geografisk adskilte områder, og normalt sett stor utveksling av genetisk materiale i utbredelsesområdet. En art med stor grad av genetisk differensiering vil som oftest ha flere genetisk distinkte stammer, underarter eller populasjoner som hver vil være mer sårbar for genetisk påvirkning fra andre stammer eller individer avlet for oppdrett.

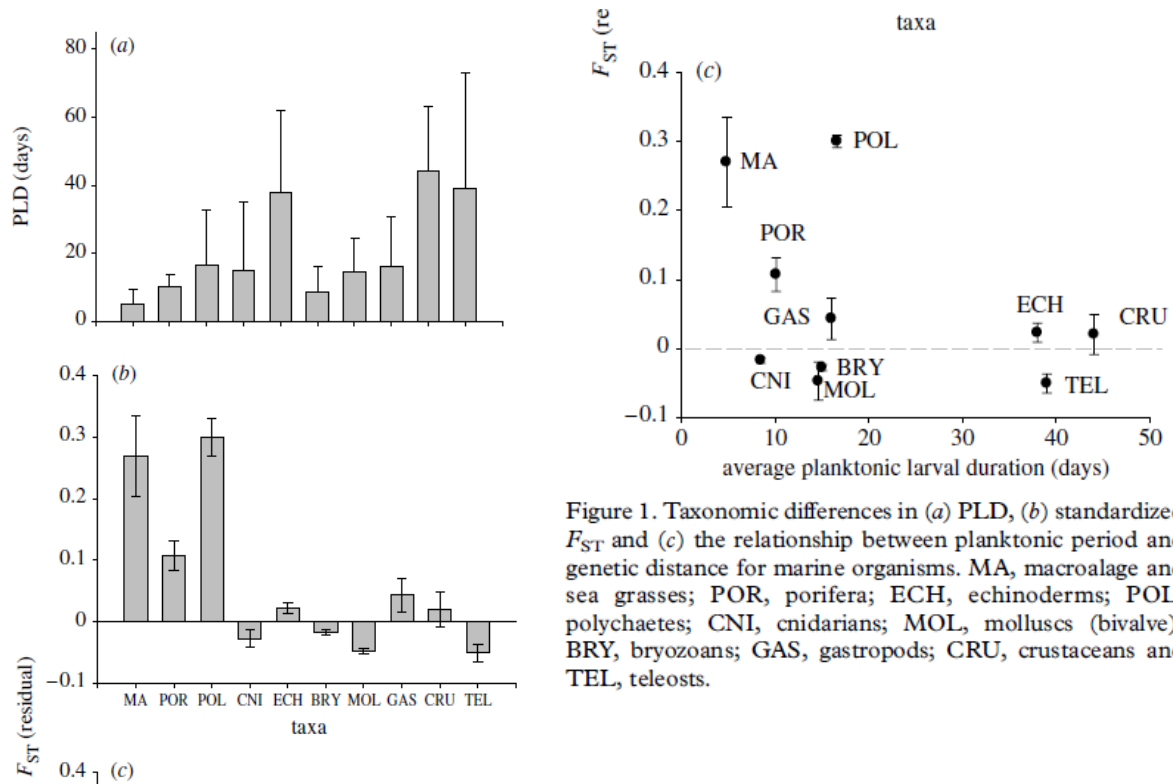


Figure 1. Taxonomic differences in (a) PLD, (b) standardized  $F_{ST}$  and (c) the relationship between planktonic period and genetic distance for marine organisms. MA, macroalgae and sea grasses; POR, porifera; ECH, echinoderms; POL, polychaetes; CNI, cnidarians; MOL, molluscs (bivalve); BRY, bryozoans; GAS, gastropods; CRU, crustaceans and TEL, teleosts.

Figur 14 (a) Varigheten av det planktoniske stadiet (PLD), (b) genetisk differensiering innad i arter ( $F_{ST}$ ) og (c) forholdet dem imellom for grupper av marine organismer. Hentet fra Bradbury m.fl., 2008 (110).

Når en art tas inn i oppdrett og selekteres for å fremme de egenskapene en ønsker vil man forandre den genetiske sammensetningen til den oppdrettede populasjonen. Dersom opprinnelsen er lokal vil det i starten være lite som skiller den avlede fra den ville populasjonen. Overlevelsen til individer som rømmer eller avkommet fra organismer i oppdrett vil derfor være relativt stor ved bruk av lokale stamindivider, men den genetiske påvirkningen disse representerer vil også være liten. Ettersom tiden går vil den oppdrettede populasjonen bevege seg lenger og lenger vekk fra den ville, overlevelsen i naturen vil synke (i takt med tilpasning til oppdrett) og den genetiske forskjellen til den ville populasjonen vil øke. Dersom tilførselen av materiale er stor nok og foregår over lang nok tid vil den ville bestanden kunne bli påvirket, men så lenge tilførselen av genetisk materiale stoppes vil den ville populasjonen kunne gå tilbake til utgangspunktet. Dersom opphavet derimot ikke er lokalt, vil muligheten for genetisk påvirkning være stor, men overlevelsen liten. Hvordan dette vil utvikle seg over tid i oppdrett vil være avhengig av lokale forhold, men generelt vil tilpasning til oppdrett føre til en redusert overlevelse i naturen, slik at det opprinnelige bildet forsterker seg. Dersom genetisk materiale spres til den ville populasjonen vil dette ikke nødvendigvis kunne reverseres dersom det innførte opphavet hadde med seg genvarianter som i utgangspunktet ikke fantes i den lokale, ville populasjonen.



Bruk av ikke-lokale individer som opphav til en oppdrettspopulasjon er derfor forbundet med større risiko enn å begynne med lokale individer.

Den beste forsikringen mot genetisk påvirkning på ville bestander er bruk av sterile eller ikke-reproduserende organismer (111). Triploid laks har vært brukt i utlandet i lengre tid, med blandede produksjonsresultater, men gitt en positiv utvikling på dette feltet vil det kunne være en stor fordel både i konvensjonell oppdrett og IMTA. Polyploiditet (tre eller flere kromosomkopier) forekommer naturlig hos flere arter og kan ha forskjellige fysiologiske effekter fra art til art: ikke alle blir helt sterile. Om det blir aktuelt må det derfor undersøkes nøye for hver enkelt art og omtales ikke videre i kapitlet.

## MAKROALGER

Makroalgene er blant gruppene av marine organismer med lavest naturlig spredningspotensial og høyest genetisk differensiering (110). Det er ikke gjort mye forskning på dette området for norske arter og forhold, men én studie har vist lav genetisk diversitet innen og liten spredning mellom europeiske bestander av sukkertare (*Saccharina latissima*) (112). Det er også vist forskjeller i vekst hos sukkertare fra Nord- og Sør-Norge (113). Miljødirektoratet har nylig gjort en kunnskapsoppsummering med vekt på spredningsfaren ved utsetting av ikke-stedegen tare i Norge (114). Basert hovedsakelig i føre-var-prinsippet konkluderer de med at tare til dyrking bør stamme fra samme fjordsystem som anlegget for å sikre at det ikke skjer utilsiktet spredning.

## SKJELL (BLÅSKJELL)

Blåskjell oppdrettes i dag utelukkende ved hjelp av naturlig påslag på substrat og genetisk forurensing er da ikke et problem siden alt av blåskjell som finnes i anlegget har kommet dit naturlig. Derimot kan det i fremtiden bli aktuelt med avl for å forbedre vekst, sykdomsresistens eller innhold av algegifter (evne til å refusere visse typer mikroalger). Blåskjell kan egne seg for systematisk avl (115) og da kan det være aktuelt å hente inn blåskjell langveisfra for å sikre stor genetisk variasjon i grunnlagsmaterialet.

Blåskjell (*Mytilus edulis*) er en art med et stort spredningspotensial på grunn av et utstrakt planktonstadium og relativt liten genetisk variasjon. Det gjenspeiles også i det uklare skillet til to av dets nærmeste slektninger; «middelhavsblåskjell» (*M. galloprovincialis*) og «østersjøblåskjell» (*M. trossulus*) (115–117). I områder der utbredelsen deres overlapper forekommer utstrakt hybridisering som produserer fertilt avkom, og deler av populasjonen i Østersjøen domineres av hybrider. På tross av dette finnes populasjoner med liten genetisk utveksling innad i Østersjøen (117). Alle tre artene, samt alle hybridkombinasjoner, har også blitt identifisert langs norskekysten, men uten at det har latt seg gjøre å danne en geografisk populasjonsstruktur (118). Det er derfor vanskelig å forutsi hvor differensiert den er og om det er regionale eller lokale forskjeller. Det vil trolig avhenge av fysiske spredningsbarrierer som for eksempel havstrømskiller langs kysten. Alle artenes, og deres hybriders, tilstedeværelse langs hele kysten indikerer at det er stor utveksling av genetisk materiale. Varierende funn sammenlignet med tidligere studier kan også indikere at det akkurat nå pågår et skifte i hvilke arter (eller hybrider) som dominerer i de forskjellige områdene (118).

Føre-var-prinsippet tilsier at en bør være forsiktig med utsetting av ikke-stedegne, eller avlede blåskjell inntil mere kunnskap finnes om populasjonsstrukturen i Norge og lokale de tilpasningene. Den store graden av hybridisering indikerer derimot at det er stor utveksling av genetisk materiale på tvers av geografiske områder/populasjoner (og arter) og at blåskjell derfor er en av artene der avl med liten tanke på stedegenhet kan vurderes. Derimot er det usikkert hvor mye dette vil oppnå siden lokalt innhentede blåskjell antagelig ikke vil skille seg nevneverdig fra blåskjell hentet andre steder og derfor ikke være noe dårligere eller bedre enn disse.

## KRÅKEBOLLER

Den Atlantiske populasjonen av drøbakkråkebollen (*Strongylocentrotus droebachiensis*) har en komplisert populasjonsgenetikk. Det er små separate populasjoner enkelte plasser, mye blanding i populasjonen generelt, innsig av genetisk materiale fra morpopulasjonen i Stillehavet (gjennom Nordishavet) og hybridisering med en nært beslektet art (*S. pallidus*) (119,120). Den store utbredelsen, hybridisering og en relativt høy grad av utveksling av genetisk materiale tilsier at det generelt er lite stedegenhet hos drøbakkråkebollen. Derimot skiller enkelte områder seg ut med stor genetisk forskjell fra andre områder, hovedsakelig på grunn av hybridisering og innførsel av genetisk materiale fra *S. pallidus* (121). Lite er dermed sikkert på generell basis om populasjonsgenetikken til kråkebollebestandene langs norskekysten.

## SJØPØLSER

De mest aktuelle sjøpølseartene for oppdrett i Norge er rødpølse (*Parastichopus tremulus*) og brun sjøpølse (*Cucumaria frondosa*). Den brune sjøpølsa har en utbredelse over hele det nordlige Atlanterhavet med relativt separate populasjoner på østkysten av Nord-Amerika og vestkysten av Europa (122), mens lite er undersøkt om rødpølsa. Lite er kjent om eventuelle lokale tilpasninger og populasjoner utover dette.

## KREPSDYR

Den Europeiske hummerens (*Homarus gammarus*) utbredelse strekker seg fra den nordlige Atlanterhavskysten til Marokko, inn i Middelhavet og langs Atlanterhavskysten av det Europeiske fastlandet opp til Lofoten i Nord. Den finnes også langs hele kysten av de Britiske øyene, men ikke i Østersjøen. På tross av et stort utbredelsesområde har den en relativt lav genetisk diversitet, men det finnes fire genetisk distinkte grupper: Nord-Norge, Nederland, resten av den Atlantiske utbredelsen og Middelhavet (spesielt Egeerhavet) (123,124). Det forventes også at de forskjellige gruppene har forskjeller i miljøtilpasning, spesielt om man sammenligner populasjonen fra Nord-Norge med den i Middelhavet der det er store forskjeller i temperatur gjennom året (123). Den lave diversiteten hos hummeren skyldes antagelig en felles opprinnelse for alle de fire genetiske gruppene vi i dag ser, med en utvandring derfra etter den siste istiden (124,125). På tross av en lav diversitet på artsnivå finnes det populasjoner av hummer i Norge som er distinkt forskjellige fra hverandre (126). Selv med en lav gendiversitet på artsnivå er det altså fullt mulig å ha genetisk distinkte populasjoner i geografisk nærhet til hverandre, på grunn av fysiske hindre som for eksempel strømforhold som hindrer larvespredning.

Sjøkrepsen (*Nephrops norvegicus*) lever på dyp bløtbunn langs hele den Europeiske Atlanterhavskysten og i Middelhavet (127). Som for Europeisk hummer er det en lav genetisk differensiering mellom geografisk adskilte områder, og i enda større grad for sjøkrepsen enn hummeren. Populasjoner i Nordsjøen og Egeerhavet skiller seg ikke mer fra hverandre enn de gjør innad, som tyder på at det ikke enda har utviklet seg geografisk separerte populasjoner av sjøkreps. Som for hummer antas det at sjøkrepsen har kolonisert nye områder fra et felles tilholdssted etter siste istid og at det er bakgrunnen til den lave genetiske diversiteten (128). Selv om det er lite som tilsier at det finnes stedegne populasjoner av sjøkreps er det en generelt lite studert art med tilhørende mangel på kunnskap.

Taskekrabben (*Cancer pagurus*) finnes langs den Europeiske Atlanterhavskysten fra Finnmark til nordlige Afrika, med det viktigste området rundt de Britiske øyer (129). Data på populasjonsgenetikk er sparsommelige, men det er funnet lite variasjon mellom individer fra Kattegat, Skagerrak og Mørkysten (130,131).

## FLERBØRSTEMARK

Det eksisterer lite litteratur på populasjonsgenetikk hos flerbørstemark fra nordlige områder, men det ser ut til at det kan være store forskjeller mellom arter. *Neantbes virens* har relativt lite genetisk differensiering basert på geografiske forskjeller, mens genetisk differensiering er tydelig hos *Hediste diversicolor* (132). Det finnes også sterke indikasjoner på rask genetisk adaptasjon til kobberforurensning hos *Nereis diversicolor* (133).

# AREAL

## FELLES BRUK AV SJØAREAL

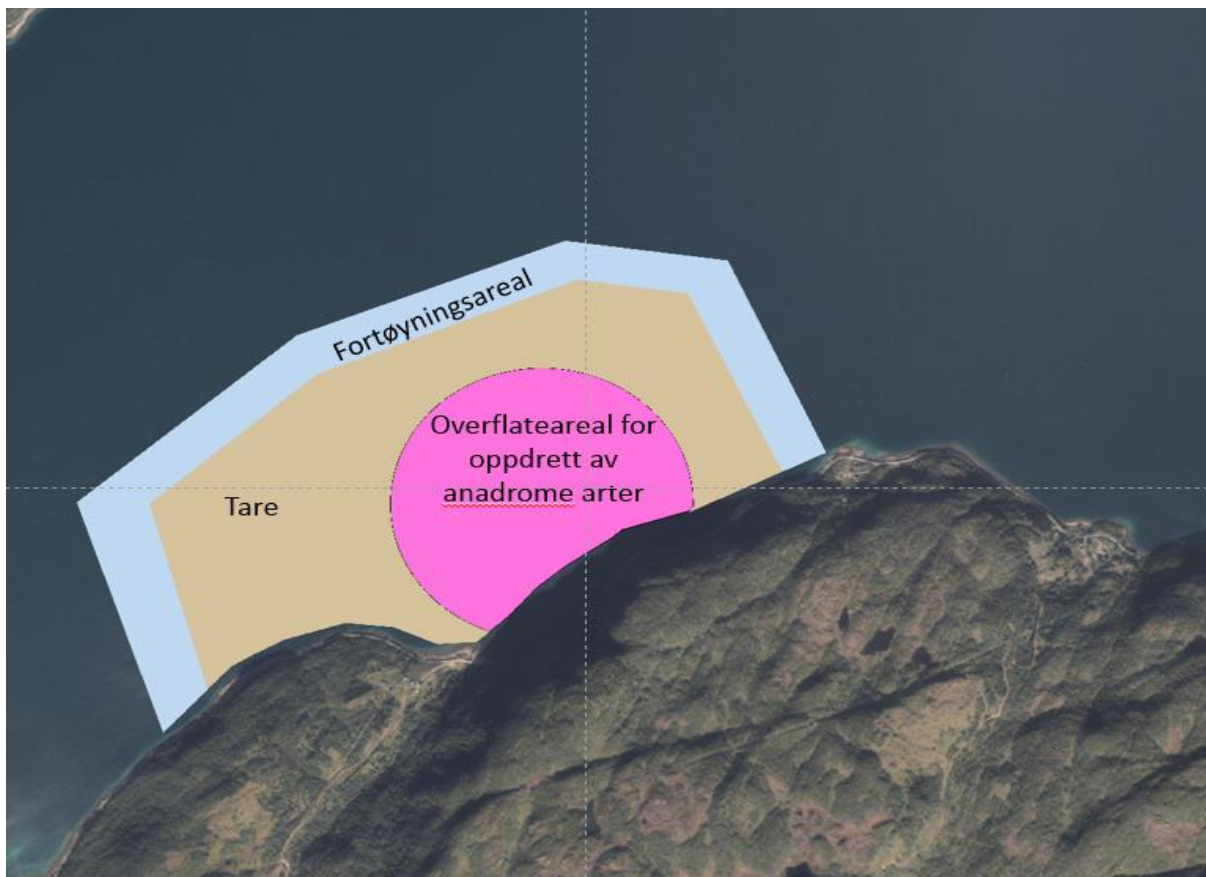
Dagens oppdrettsanlegg for laksefisk beslaglegger et lite areal sett i forhold til hvilken matproduksjon de utgjør. Inkludert bunnforankringer utgjør norske oppdrettsanlegg i sjø et område på ca 420 km<sup>2</sup>. Til sammenligning er dette ca 0,5 % av arealet innenfor grunnlinjen (134), eller under 2 % av det samlede jordbruksarealet i Norge (innmarksbeite og dyrket jord). På tross av dette er det konflikter mellom oppdrett og annen bruk av kystens havområder. Konflikten omfatter hvem som bør bruke tilgjengelig areal, hvilke krav som skal settes, hva lokale myndigheter får igjen for å tillate oppdrett, visuelle problemstillinger, forhold til vill laksefisk, friluftsliv, skipsfart og kommersielt fiske. Fremtidig vekst i næringen og en femdobling av produksjonen mot 2050 forutsetter en stor økning i arealbruk. Det vil utvilsomt by på utfordringer.

IMTA oppfattes som mer positivt enn konvensjonell fiskeoppdrett i offentligheten, og det er en høyere betalingsvillighet for IMTA-merkede produkter (135). IMTA vil derfor lettere kunne få lokalt innpass og tilgang på areal enn det konvensjonelt fiskeoppdrett klarer i dag. Tareoppdrett i IMTA vil kunne fungere som en kunstig tareskog. Avhengig av hvor stor denne effekten er kan det også bli et attraktivt habitat for villfisk, som igjen vil kunne styrke ville, høstbare populasjoner. Dette kan igjen bidra til et lavere konfliktnivå mellom fiskere og IMTA sammenlignet med konvensjonelt oppdrett.

På tross av dette er det flere arealutfordringer som i prinsippet er like mellom IMTA og konvensjonelt oppdrett. Det er derfor vanskelig å vite i hvilken grad IMTA's miljømessige fortrinn vil kunne bøte på dette i samfunnets øyne. Det vil fortsatt måtte avsettes areal til IMTA og arealene vil derfor ikke kunne brukes til andre aktiviteter, samt at det visuelt vil være sammenlignbart med konvensjonelt oppdrett.

## BRUK AV SJØAREAL TIL OPPDRETT AV LAVTROFISKE ARTER I DAG

Med en arealbruk på størrelse med Andøya (420 km<sup>2</sup>) inkludert bunnforankringer utgjør overflatearealet til norske oppdrettsanlegg for laks i sjø ca 66 km<sup>2</sup> i dag. Det betyr at det innenfor dagens fortøyningsareal på norske oppdrettsanlegg i sjø er et areal på 354 km<sup>2</sup>. Det er dette arealet som kan være en uutnyttet ressurs ved bruk av de næringsstoffer som skapes i lakseproduksjonen. Full utnyttelse av dette arealet er derimot vanskelig, siden det er nødvendig med tilgang til fiskemerdene for røking av fisken og andre driftsoperasjoner. Noe av arealet vil antagelig kunne utnyttes, men det er vanskelig å tallfeste eksakt og vil antagelig avhenge av både lokalitet og hvilke arter som dyrkes.

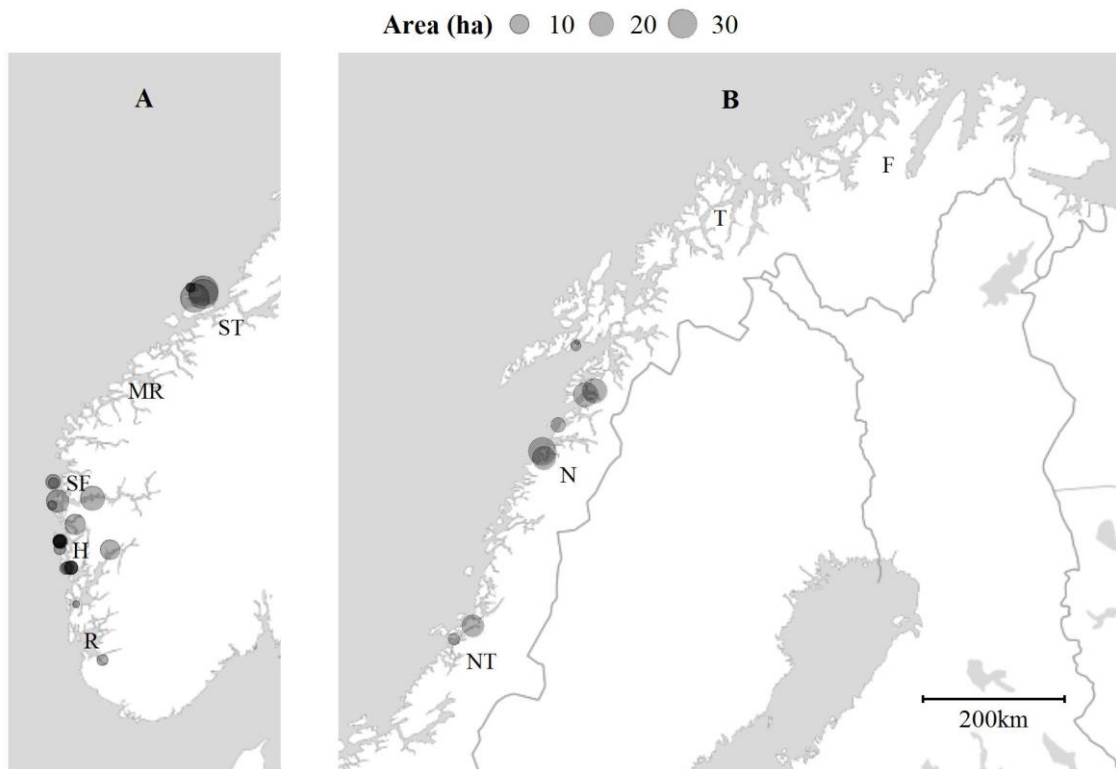


Figur 15 Skisse av areal til algeproduksjon i tilknytning til oppdrettslokalitet

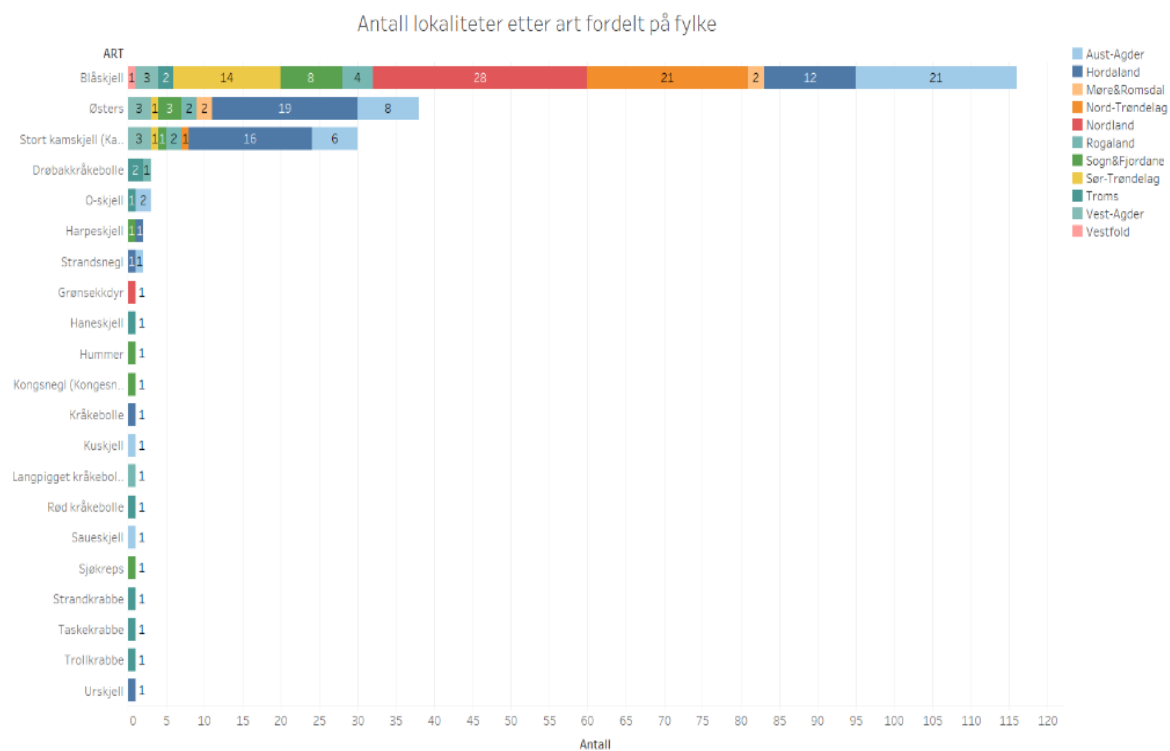
Per i dag eksisterer det ingen oversikt over lokaliteter der det oppdrettes flere arter i systemer som ligner på IMTA, siden tillatelsene ikke deles ut som en enhet til IMTA, men som separate tillatelser for hver art/artsgruppe. VI har derfor valgt å presentere data på dyrking av noen av de lavtrofiske artene. Noen vil være dyrket alene mens andre vil være dyrket i tilknytning til fiskeoppdrett.

Vi har i dag algeproduksjon i 6 fylker som fordeler seg geografisk som vist i Figur 16. Det er flest lokaliteter på artene sukkertare, butare, fingertare og søl. Hovedvekten av algeproduksjonen er på Vestlandet (136).

Oppdrett av skjell, kråkebolle, krepser og krabbe er mer omfattende. Blåskjell er desidert størst med 116 lokaliteter fordelt på 11 fylker. Nordland er største blåskjellfylke rangert etter antall lokaliteter, fulgt av Nord-Trøndelag og Aust-Agder. Østers og stort kamskjell har mange lokaliteter i Hordaland.

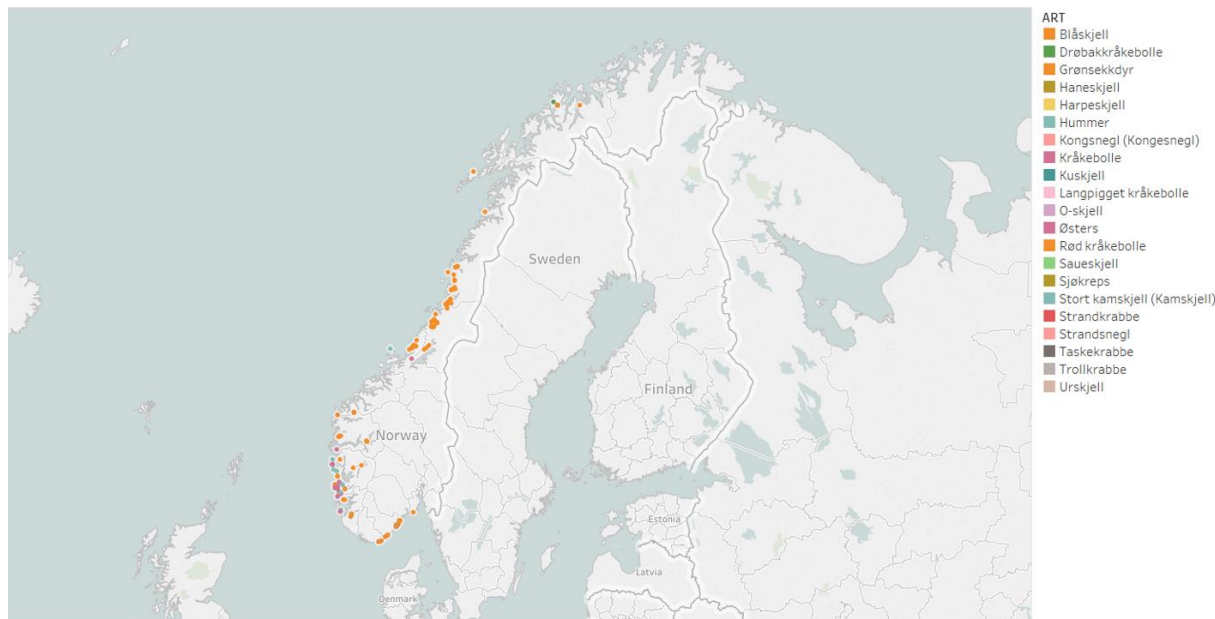


Figur 166 Tillatt dyrkingsareal for makroalger langs kysten av Sør-Norge (a) og Nord-Norge (b) per januar 2017. Fylker: Rogaland (*R*), Hordaland (*H*), Sogn og Fjordane (*SF*), Møre og Romsdal (*MR*), Sør-Trøndelag (*ST*), Nord-Trøndelag (*NT*), Nordland (*N*), Troms (*T*) og Finnmark (*F*). Mørke sirkler indikerer flere lokaliteter i samme område. Figuren er hentet fra Stévant et al. 2017 (136).



Figur 17 Fylkesvis fordeling av akvakulturlokaliteter for produksjon av krepsdyr, pigghuder og bløtdyr til konsum

## AKVAKULTURDYR TIL KONSUM



Kilde: Fiskeridirektoratets akvakulturregister per 21.01.2017

Figur 18 Geografisk fordeling av akvakulturlokalteter for produksjon av krepsdyr, pigghuder og bløtdyr til konsum

## AREALEFFEKTIVISERING

### SAMLOKALISERING

I IMTA dyrkes alle artene innenfor et begrenset område for at den enes avfall skal kunne bli den andres ressurs. Dette representerer et betydelig potensiale for arealeffektivisering av produksjonen siden produsert biomasse vil øke kraftig med en liten økning i arealbruk. I hvor stor grad dette vil gjøre seg gjeldene gjenstår å se siden IMTA enda ikke eksisterer i kommersiell skala. En studie av infeksjøs lakseanemi og risikofaktorer i norske lakselokaliteter publisert i 1997 er opphavet til dagens veterinære avstandskrav på 5 km mellom oppdrettsanlegg for laks (137). Hvorvidt IMTA kan redusere risiko for smitte har vi ikke funnet vitenskapelig dokumentasjon på. Dette kan være aktuell fremtidig forskning for å avklare miljømessige effekter av IMTA og mulig reduksjon i avstandskrav ved IMTA sammenlignet med andre driftsformer.



Figur 19 Havbruksnæringens arealbruk når en legger inn veterinære avstandskrav på 5 km (Kilde Nofima)

## UPWELLING

Det er gjort flere forsøk i lagdelte fjordsystem som har vist at pumping av næringsrikt vann fra dypet opp til eufotisk sone (upwelling) kan øke planteplanktonproduksjonen med inntil 300 %. Den økte næringstilgangen fremmer også andelen ikke-giftige planteplankton (dinoflagellatene *Ceratium furca* og *C. tripos*) i forhold til potensielt toksiske planteplankton (*Dinophysis* spp) som kan lede til forgiftning (diarrhetic shellfish poisoning, DSP). Den økte konsentrasjonen av plankton gir også økt biologisk produktivitet av blåskjell (34,35). Økt næringstilgang vil også være nyttig for makroalger. Dersom den økte veksten i mikroalger er overførbar til makroalger vil vi kunne se en tredobling av høstbar biomasse innenfor samme areal ved hjelp av upwelling. Det representerer en betydelig arealeffektivisering som kanskje kan begrense konflikt med andre brukere i kystsonen.



## REFERANSER

1. Fiskeridirektoratet. Produksjonsstatistikk for akvakultur [Internett]. 2015 [sitert 1. juni 2016]. Tilgjengelig på: [www.fiskeridir.no](http://www.fiskeridir.no)
2. Reid G, Liutkus M, Robinson S, Chopin T, Blair T, Lander T, mfl. A review of the biophysical properties of salmonid faeces: Implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. Bd. 40, *Aquaculture Research*. 2009. s. 257–73.
3. Kutti T, Ervik A, Høisæter T. Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. III. Linking deposition rates of organic matter and benthic productivity. *Aquaculture*. 2008;282(1–4):47–53.
4. Wang X, Olsen LM, Reitan KI, Olsen Y. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: Environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. Bd. 2, *Aquaculture Environment Interactions*. 2012. s. 267–83.
5. Olsen Y, Olsen LM. Environmental Impact of Aquaculture on Coastal Planktonic Ecosystems. I: *Fisheries for Global Welfare and Environment*, Memorial book of the 5th World Fisheries Congress. 2008. s. 181–96.
6. Tett P. Fish Farm Wastes in the Ecosystem BT - *Aquaculture in the Ecosystem*. I: *Aquaculture in the Ecosystem*. 2008. s. 1–46.
7. Taranger GL, Karlsen Ø, Bannister RJ, Glover KA, Husa V, Karlsbakk E, mfl. Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES J Mar Sci*. 2015;72(3):997–1021.
8. Wang X, Broch OJ, Forbord S, Handå A, Skjermo J, Reitan KI, mfl. Assimilation of inorganic nutrients from salmon (*Salmo salar*) farming by the macroalgae (*Saccharina latissima*) in an exposed coastal environment: Implications for integrated multi-trophic aquaculture. *J Appl Phycol*. 2014;26(4):1869–78.
9. Selvik J, Høgåsen T. Kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor til norske kystområder i 2013 - tabeller og figurer. Rapport l.nr. 6753-2014. Oslo: NIVA; 2014.
10. Olsen L, Holmer M, Olsen Y. Perspectives of nutrient emission from fish aquaculture in coastal waters. Literature review with evaluated state of knowledge. FHF project 542014. 2008. s. 87.
11. Cranford PJ, Reid GK, Robinson SM. Open water integrated multi-trophic aquaculture: Constraints on the effectiveness of mussels as an organic extractive component. *Aquac Environ Interact*. 2013;4(2):163–73.
12. LM B, PJ C, Jansen H, Strand Ø. Temporal variations in suspended particulate waste concentrations at open-water fish farms in Canada and Norway. *Aquac Environ Interact*. 2016;8:437–52.
13. HM J, GK R, RJ B, Husa V, SMC R, JA C, mfl. Discrete water quality sampling at open-water aquaculture sites: limitations and strategies. *Aquac Environ Interact*. 2016;8:463–80.
14. Fredriksen S, Olsen Y, Husa V, Skjoldal HR, Dale T, Christie H, mfl. Vurdering av eutrofieringssituasjonen i kystområder, med særlig fokus på Hardangerfjorden og Boknafjorden. 2011.

15. Husa V, Hansen P, Bannister R, Kutti T. Utslipp av partikulære og løste stoffer fra matfiskanlegg. I: Svåsand T, Boxaspen KK, Karlsen Ø, Kvamme BO SL og TG, redaktør. Risikovurdering av norsk fiskeoppdrett 2014, Fisken og Havet, særnummer 2-2015. 2015. s. 106–22.
16. Husa V, Kupka P, Ervik A, Aure J, Bannister R. Utslipp av partikulære og løste stoffer fra matfiskanlegg. I: Taranger GL, Svåsand T, Kvamme BO KT og BK, redaktør. Risikovurdering Norsk fiskeoppdrett 2013 Fisken og Havet, særnummer 2–2014. 2014. s. 99–118.
17. FAO. Aquaculture statistics of the Food and Agriculture Organization of the United Nations [Internett]. 2014. Tilgjengelig på: <http://www.fao.org/fishery/statistics/en>
18. Neori A, Troell M, Chopin T, Yarish C, Critchley A, Buschmann AH. The need for a balanced ecosystem approach to blue revolution aquaculture. *Environ Sci Policy Sustain Dev.* 2007;49(3):36–43.
19. Chopin T, Yarish C, Sharp G. Beyond the Monospecific Approach To Animal Aquaculture — the Light of Integrated Multi-Trophic Aquaculture. *Ecol Genet Implic Aquac Act Methods Technol Fish Biol Fish.* 2007;6:447–58.
20. Barrington K, Chopin T, Robinson S. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. I: Soto D, redaktør. *Integrated mariculture: a global review* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No 529. Rome: FAO; 2009. s. 7–46.
21. Chopin T. Integrated Multi-Trophic Aquaculture: What it is, and why you should care.....and don't confuse it with polyculture. *Aquac North Am.* 2006;(August):4.
22. Robinson S, Reid G. Review of the Potential Near-and Far-Field Effects of the Organic Extractive Component of Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) in Southwest New Brunswick with Emphasis on the Blue Mussel (*Mytilus edulis*). CSAS res doc 2014/026. Bd. 26. DFO; 2014.
23. Skjermo J, Aasen IM, Arff J, Broch OJ, Carvajal A, Christie H, mfl. A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: Opportunities and R&D needs. Sintef report A25981. Trondheim; 2014.
24. Christie H, Norderhaug KM, Fredriksen S. Macrophytes as habitat for fauna. *Mar Ecol Prog Ser.* 2009;396:221–33.
25. Øverland M, Karlsson A, Mydland LT, Romarheim OH, Skrede A. Evaluation of *Candida utilis*, *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae* yeasts as protein sources in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture.* 2013;402–403:1–7.
26. Winther U, Ziegler F, Hognes ES, Emanuelsson A, Sund V, Ellingsen H. Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products. 2009.
27. Duarte CM, Holmer M, Olsen Y, Soto D, Marbà N, Guiu J, mfl. Will the Oceans Help Feed Humanity? *Bioscience.* 2009;59(11):967–76.
28. Handå A, Forbord S, Broch OJ, Skjermo J, Reitan KI. Dyrking og anvendelse av tare, med spesiell fokus på bioenergi i nordområdene. Sintef report SFH80 A092036. Trondheim; 2009.
29. Zhulay I, Reiss K, Reiss H. Effects of aquaculture farming on the recovery of macrofauna communities. *Mar Pollut Bull.* 2015;97(1–2):381–90.
30. Sæther B, Uglem I, Karlsen Ø. Interaksjoner mellom havbruk og ville marine organismer - En kunnskapsoppsummering. FHF-prosjekt 900772. 2012.

31. Mckindsey C, Archambault P, Callier MD, Olivier F. Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: a review. *Can J Zool.* 2011;89(7):622–46.
32. Aure J, Strand Ø, Erga SR, Strohmeier T. Primary production enhancement by artificial upwelling in a western Norwegian fjord. *Mar Ecol Prog Ser.* 2007;352:39–52.
33. Strohmeier T, Strand Ø, Alunno-Bruscia M, Duinker A, Rosland R, Aure J, mfl. Response of *Mytilus edulis* to enhanced phytoplankton availability by controlled upwelling in an oligotrophic fjord. *Mar Ecol Prog Ser.* 2015;518:139–52.
34. McClimans T, Handå A, Fredheim A, Lien E, Reitan K. Controlled artificial upwelling in a fjord to stimulate non-toxic algae. *Aquac Eng.* 2010;42(3):140–7.
35. Handå A, McClimans TA, Reitan KI, Knutsen Ø, Tangen K, Olsen Y. Artificial upwelling to stimulate growth of non-toxic algae in a habitat for mussel farming. *Aquac Res.* 2014;45(11):1798–809.
36. Handå A, Min H, Wang X, Broch OJ, Reitan KI, Reinertsen H, mfl. Incorporation of fish feed and growth of blue mussels (*Mytilus edulis*) in close proximity to salmon (*Salmo salar*) aquaculture: Implications for integrated multi-trophic aquaculture in Norwegian coastal waters. *Aquaculture.* 2012;356–357:328–41.
37. Matsson S, Mogård S, Fieler R, Christie H, Neves L. Pilotstudie på dyrking av tare i Troms. Akvaplan-niva AS Rapport: 6607.01. Tromsø;
38. Aure J, Strohmeier T, Strand Ø. Modelling current speed and carrying capacity in long-line blue mussel (*Mytilus edulis*) farms. *Aquac Res.* 2007;38(3):304–12.
39. Rosland R, Bacher C, Strand Ø, Aure J, Strohmeier T. Modelling growth variability in longline mussel farms as a function of stocking density and farm design. *J Sea Res.* 2011;66(4):318–30.
40. Svåsand T, Karlsen Ø, Kvamme BO, Stien LH, Taranger GL, Boxaspen KK, mfl. Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2016, Fisken og havet, særnummer 2-2016. Svåsand T, Karlsen Ø, Kvamme BO, Stien LH, Taranger GL, Boxaspen KK, redaktører. Bergen: Havforskningsinstituttet; 2016. 190 s.
41. Wang X, Andresen K, Handå A, Jensen B, Reitan KI, Olsen Y. Chemical composition and release rate of waste discharge from an Atlantic salmon farm with an evaluation of IMTA feasibility. *Aquac Environ Interact.* 2013;4(2):147–62.
42. Hersoug B, Andreassen O, Johnsen J, Robertsen R. Hva begrenser tilgangen på sjøareal til havbruksnæringen? Nofima-rapport 37/2014. Tromsø, Norway; 2014.
43. Fiskeridirektoratet. Fiskeristatistikk [Internett]. 2016 [sitert 13. januar 2017]. Tilgjengelig på: [www.fiskeridir.no](http://www.fiskeridir.no)
44. Troell M. Integrated marine and brackishwater aquaculture in tropical regions. I: Soto D, redaktør. *Integrated Mariculture - A Global Review - FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper N0 529.* Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2009. s. 47–132.
45. Broch O, Ellingsen I, Forbord S, Wang X, Volent Z, Alver M, mfl. Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *Saccharina latissima* in close proximity to an exposed salmon farm in Norway. *Aquac Environ Interact.* 2013;4(2):187–206.
46. Hadley S, Wild-Allen K, Johnson C, Macleod C. Modeling macroalgae growth and nutrient dynamics for integrated multi-trophic aquaculture. *J Appl Phycol.* 2014;901–16.

47. Bannister R, Bergvik M, Broch O, Cranford P, Ellis J, Fleddum A, mfl. EXPLOIT-project final report. 2016.
48. Sanderson J, Dring M, Davidson K, Kelly M. Culture, yield and bioremediation potential of *Palmaria palmata* (Linnaeus) Weber & Mohr and *Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders adjacent to fish farm cages in northwest Scotland. *Aquaculture*. 2012;354–355:128–35.
49. Handå A, Forbord S, Wang X, Broch OJ, Dahle SW, Størseth TR, mfl. Seasonal- and depth-dependent growth of cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in close proximity to salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture*. 2013;414–415:191–201.
50. Lobban C, Harrison P. *Seaweed Ecology and Physiology*. Lobban CS HP, redaktør. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 1994.
51. Frette Ø, Rune Erga S, Hamre B, Aure J, Stamnes J. Seasonal variability in inherent optical properties in a western Norwegian fjord. *Sarsia North Atl Mar Sci*. 2004;89(October 2013):276–91.
52. Krumhansl KA, Scheibling RE. Production and fate of kelp detritus. Bd. 467, *Marine Ecology Progress Series*. 2012. s. 281–302.
53. Green L, Sutula M, Fong P. How much is too much? Identifying benchmarks of adverse effects of macroalgae on the macrofauna in intertidal flats. *Ecol Appl*. 2014;24(2):300–14.
54. Andersen S, Strand Ø, Strand HK. Marin karbonfangst og matproduksjon. HI-rapport 25-2012. Bergen; 2012.
55. Eklöf JS, Henriksson R, Kautsky N. Effects of tropical open-water seaweed farming on seagrass ecosystem structure and function. *Mar Ecol Prog Ser*. 2006;325:73–84.
56. Grant J, Bacher C, Cranford PJ, Guyondet T, Carreau M. A spatially explicit ecosystem model of seston depletion in dense mussel culture. *J Mar Syst*. 2008;73(1–2):155–68.
57. Dame RF. *Ecology of marine bivalves: an ecosystem approach*. CRC Marine science series. 2011. xi, 271.
58. Reid G, Liutkus M, Bennett A, Robinson S, MacDonald B, Page F. Absorption efficiency of blue mussels (*Mytilus edulis* and *M. trossulus*) feeding on Atlantic salmon (*Salmo salar*) feed and fecal particulates: implications for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*. 2010;299:165–9.
59. Trottet A, Roy S, Tamigneaux E, Lovejoy C, Tremblay R. Influence of suspended mussel farming on planktonic communities in Grande-Entrée Lagoon, Magdalen Islands (Québec, Canada). *Aquaculture*. 2008;276(1–4):91–102.
60. Iglesias JIP, Urrutia MB, Navarro E, Ibarrola I. Measuring feeding and absorption in suspension-feeding bivalves: An appraisal of the biodeposition method. *J Exp Mar Bio Ecol*. 1998;219(1–2):71–86.
61. Hawkins AJS, Smith RFM, Bougrier S, Bayne BL, Héral M. Manipulation of dietary conditions for maximal growth in mussels, *Mytilus edulis*, from the Marennes-Oléron Bay, France. *Aquat Living Resour*. 1997;10:13–22.
62. Mente E, Pierce GJ, Santos MB, Neofitou C. Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: A synthesis for European aquaculture. *Aquac Int*. 2006;14(5):499–522.
63. MacDonald B, Robinson S, Barrington K. Feeding activity of mussels (*Mytilus edulis*) held

- in the field at an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) site (*Salmo salar*) and exposed to fish food in the laboratory. *Aquaculture*. 2011;314(1–4):244–51.
64. Bannister RJ, Johnsen IA, Hansen PK, Kutti T, Asplin L. Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. *ICES J Mar Sci*. 2016;73(9):2408–19.
  65. Liutkus M, Robinson S, MacDonald B, Reid G. Quantifying the Effects of Diet and Mussel Size on the Biophysical Properties of the Blue Mussel, *Mytilus* spp., Feces Egested Under Simulated Imta Conditions. *J Shellfish Res*. 2012;31(1):69–77.
  66. Zhou Y, Yang H, Zhang T, Liu S, Zhang S, Liu Q, mfl. Influence of filtering and biodeposition by the cultured scallop *Chlamys farreri* on benthic-pelagic coupling in a eutrophic bay in China. *Mar Ecol Prog Ser*. 2006;317:127–41.
  67. Inglis GJ, Gust N. Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. *J Appl Ecol*. 2003;40(6):1077–89.
  68. Kaspar HF, Gillespie PA, Boyer IC, MacKenzie AL. Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand. *Mar Biol*. 1985;85(2):127–36.
  69. Andersen S, Strohmeier T, Strand HK, Strand Ø. Karbonfangst og matproduksjon i fjorder. HI-rapport 7-2014. Bergen; 2014.
  70. Filgueira R, CJ B, LA C, Costa-Pierce B, PJ C, JG F, mfl. An integrated ecosystem approach for assessing the potential role of cultivated bivalve shells as part of the carbon trading system. *Mar Ecol Prog Ser*. 2015;518:281–7.
  71. Sutherland KR, Madin LP, Stocker R. Filtration of submicrometer particles by pelagic tunicates. *Proc Natl Acad Sci*. 2010;107(34):15129–34.
  72. Anderson SC, Flemming JM, Watson R, Lotze HK. Serial exploitation of global sea cucumber fisheries. *Fish Fish*. 2011;12(3):317–39.
  73. Mercier A, Hamel JF, Allan G, Burnell G. 14 - Sea cucumber aquaculture: hatchery production, juvenile growth and industry challenges. I: *Advances in Aquaculture Hatchery Technology*. 2013. s. 431–54.
  74. Zamora LN, Jeffs AG. A Review of the Research on the Australasian Sea Cucumber, *Australostichopus mollis* (Echinodermata: Holothuroidea) (Hutton 1872), with Emphasis on Aquaculture. *J Shellfish Res*. 2013;32(3):613–27.
  75. Eriksson H, Robinson G, Slater MJ, Troell M. Sea cucumber aquaculture in the Western Indian Ocean: Challenges for sustainable livelihood and stock improvement. *Bd. 41, Ambio*. 2012. s. 109–21.
  76. MacDonald CLE, Stead SM, Slater MJ. Consumption and remediation of European Seabass (*Dicentrarchus labrax*) waste by the sea cucumber *Holothuria forskali*. *Aquac Int*. 2013;21(6):1279–90.
  77. Hannah L, Pearce CM, Cross SF. Growth and survival of California sea cucumbers (*Parastichopus californicus*) cultivated with sablefish (*Anoplopoma fimbria*) at an integrated multi-trophic aquaculture site. *Aquaculture*. 2013;406–407:34–42.
  78. Cubillo A, Ferreira J, Robinson S, Pearce C, Corner R, Johansen J. Role of deposit feeders in integrated multi-trophic aquaculture - A model analysis. *Aquaculture*. 2016;453(JANUARY):54–66.

79. Slater MJ, Carton AG. Survivorship and growth of the sea cucumber *Australostichopus* (*Stichopus*) *mollis* (Hutton 1872) in polyculture trials with green-lipped mussel farms. *Aquaculture*. 2007;272(1–4):389–98.
80. Slater MJ, Jeffs AG, Carton AG. The use of the waste from green-lipped mussels as a food source for juvenile sea cucumber, *Australostichopus mollis*. *Aquaculture*. 2009;292(3–4):219–24.
81. Zamora LN, Dollimore J, Jeffs AG. Feasibility of co-culture of the Australasian sea cucumber (*Australostichopus mollis*) with the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in northern New Zealand. *New Zeal J Mar Freshw Res*. 2014;48(3):394–404.
82. Yu Z, Zhou Y, Yang H, Ma Y, Hu C. Survival, growth, food availability and assimilation efficiency of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* bottom-cultured under a fish farm in southern China. *Aquaculture*. 2014;426–427:238–48.
83. Yokoyama H. Growth and food source of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured below fish cages - Potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*. 2013;372–375:28–38.
84. Slater MJ, Carton AG. Effect of sea cucumber (*Australostichopus mollis*) grazing on coastal sediments impacted by mussel farm deposition. *Mar Pollut Bull*. 2009;58(8):1123–9.
85. Steen H. Fakta om stortare [Internett]. Havforskningsinstituttet. 2016. Tilgjengelig på: [http://www.imr.no/temasider/alger/tang\\_og\\_tare/stortare/nb-no](http://www.imr.no/temasider/alger/tang_og_tare/stortare/nb-no)
86. Cook EJ, Kelly MS. Co-Culture of the Sea Urchin *Paracentrotus lividus* and the Edible Mussel *Mytilus edulis* L. on the West Coast of Scotland, United Kingdom. *J Shellfish Res*. 2009;28(3):553–9.
87. Orr LC, Curtis DL, Cross SF, Gurney-Smith H, Shanks A, Pearce CM. Ingestion rate, absorption efficiency, oxygen consumption, and fecal production in green sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) fed waste from sablefish (*Anoplopoma fimbria*) culture. *Aquaculture*. 2014;422–423:184–92.
88. Wang G, McGaw IJ. Potential use of Mussel farms as Multitrophic on-growth sites for American lobster, *Homarus americanus* (Milne Edwards). *Fish Aquac J*. 2016;7(161).
89. Mortensen S, Korsnes K. IMTA – smitteveier og sykdom. I: Fiskehelse, Temanummer om IMTA – Integrert Multitrofisk Akvakultur. 2012. s. 27–30.
90. Rolin C, Graham J, McCarthy U, Martin SAM, Matejusova I. Interactions between *Paramoeba perurans*, the causative agent of amoebic gill disease, and the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Aquaculture*. 2016;456:1–8.
91. Webb JL, Vandenbor J, Pirie B, Robinson SM, Cross SF, Jones SR, mfl. Effects of temperature, diet, and bivalve size on the ingestion of sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) larvae by various filter-feeding shellfish. *Aquaculture*. 2013;406–407:9–17.
92. Molloy SD, Pietrak MR, Bouchard DA, Bricknell I. Ingestion of *Lepeophtheirus salmonis* by the blue mussel *Mytilus edulis*. *Aquaculture*. 2011;311(1–4):61–4.
93. Mortensen SH. Passage of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) through invertebrates in an aquatic food chain. Bd. 16, *Diseases of Aquatic Organisms*. 1993. s. 41–5.
94. Liltved H, Vogelsang C, Modahl I, Dannevig BH. High resistance of fish pathogenic viruses to UV irradiation and ozonated seawater. *Aquac Eng*. 2006;34(2):72–82.

95. Mortensen SH, Bachere E, Le Gall G, Mialhe E. Persistence of infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) in scallops *Pecten maximus*. *Dis Aquat Organ.* 1992;12:221–7.
96. Molloy SD, Pietrak MR, Bricknell I, Bouchard DA. Experimental transmission of infectious pancreatic necrosis virus from the blue mussel, *Mytilus edulis*, to cohabitating Atlantic Salmon (*Salmo salar*) smolts. *Appl Env Microbiol.* 2013;79(19):5882–90.
97. Skår CK, Mortensen SH. Fate of infectious salmon anaemia virus (ISAV) in experimentally challenged blue mussels *Mytilus edulis*. *Dis Aquat Organ.* 2007;74(1):1–6.
98. Hughes A, Kelly M. Integrated Multi-Trophic Aquaculture. Report from Scottish Association for Marine Science. 2012.
99. Molloy SD, Pietrak MR, Bouchard DA, Bricknell I. The interaction of infectious salmon anaemia virus (ISAV) with the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Aquac Res.* 2014;45(3):509–18.
100. Pietrak MR, Molloy SD, Bouchard DA, Singer JT, Bricknell I. Potential role of *Mytilus edulis* in modulating the infectious pressure of *Vibrio anguillarum* on an integrated multi-trophic aquaculture farm. *Aquaculture.* 2012;326–329:36–9.
101. Mortensen SH, Korsnes K, Bergh Ø. «Eyes wide shut» A critical view of aquaculture health management and risk factors in the «real world». *Bull Eur Assoc Fish Pathol.* 2006;26(1):2–6.
102. van Nes S. Development of IMTA; a climate friendly increase in food security. I: Environmental considerations in the Arctic: Sustainable resource exploitation. Bellona; 2015.
103. Álvarez-Muñoz D, Rodríguez-Mozaz S, Maulvault AL, Tediosi A, Fernández-Tejedor M, Van den Heuvel F, mfl. Occurrence of pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in macroalgae, bivalves, and fish from coastal areas in Europe. *Environ Res.* 2015;143:56–64.
104. Cunha SC, Fernandes JO, Vallecillos L, Cano-Sancho G, Domingo JL, Pocurull E, mfl. Co-occurrence of musk fragrances and UV-filters in seafood and macroalgae collected in European hotspots. *Environ Res.* 2015;143:65–71.
105. Hannisdal R, Nøstbakken O, Lunestad B, Hove H, Graff I, Madsen L. NIFES Monitoring program for pharmaceuticals, illegal substances, and contaminants in farmed fish - annual report for 2014. Bergen, Norway; 2015.
106. Folkehelseinstituttet. Legemiddelstatistikk for akvakultur 2015 [Internett]. [www.fhi.no](http://www.fhi.no). 2016 [sitert 13. september 2016]. Tilgjengelig på: <https://www.fhi.no/hn/legemiddelbruk/fisk/forbruket-av-lakselusmidler-er-fort/>
107. Boßelmann F, Romano P, Fabritius H, Raabe D, Epple M. The composition of the exoskeleton of two crustacea: The American lobster *Homarus americanus* and the edible crab *Cancer pagurus*. *Thermochim Acta.* 2007;463(1–2):65–8.
108. Samuelsen OB, Lunestad BT, Hannisdal R, Bannister R, Olsen S, Tjensvoll T, mfl. Distribution and persistence of the anti sea-lice drug teflubenzuron in wild fauna and sediments around a salmon farm, following a standard treatment. *Sci Total Environ.* 2015;508:115–21.
109. Haya K, Sephton D, Martin J, Chopin T. Monitoring of therapeutants and phycotoxins in kelps and mussels co-cultured with Atlantic salmon in an integrated multi-trophic aquaculture system. Monitoring of Therapeutants and Phycotoxins in Kelps and Mussels Co-cultured with Atlantic Salmon in. *Bull Aquacul Assoc Canada.* 2004;104(3):29–34.

110. Bradbury IR, Laurel B, Snelgrove PVR, Bentzen P, Campana SE. Global patterns in marine dispersal estimates: the influence of geography, taxonomic category and life history. *Proc Biol Sci.* 2008;275(1644):1803–9.
111. Youngson, Dosdat, Saroglia, Jordan. Genetic interactions between marine finfish species European aquaculture and wild conspecifics. *J Appl Ichthyol.* 2001;17(4):153–62.
112. Guzinski J, Mauger S, Cock JM, Valero M. Characterization of newly developed expressed sequence tag-derived microsatellite markers revealed low genetic diversity within and low connectivity between European *Saccharina latissima* populations. *J Appl Phycol.* 2016;28(5):3057–70.
113. Futsæter G, Rueness J. Metode for kontroll av livssyklus, krysningsforsøk og masseproduksjon av sporofytter i kultur av *Laminaria saccharina* (L) Lamour. 1985.
114. Fredriksen S, Sjøtun IK. Risikovurdering ved utsetting av ikke-stedegen tare. Miljødirektoratet-rapport M-299 | 2015. 2015.
115. Beaumont A, Gjedrem T, Moran P. Blue Mussel – *M. edulis* and Mediterranean mussel – *M. galloprovincialis*. I: Genetic effects of domestication, culture and breeding of fish and shellfish, and their impacts on wild populations. Viterbo, Italy: GENIMPACT project: Evaluation of genetic impact of aquaculture activities on native populations. A European network. WP1 workshop “Genetics of domestication, breeding and enhancement of performance of fish and shellfish”; 2006. s. 6.
116. Beaumont AR, Hawkins MP, Doig FL, Davies IM, Snow M. Three species of *Mytilus* and their hybrids identified in a Scottish Loch: natives, relicts and invaders? *J Exp Mar Bio Ecol.* 2008;367(2):100–10.
117. Larsson J, Lind EE, Corell H, Grahn M, Smolarz K, Lönn M. Regional genetic differentiation in the blue mussel from the Baltic Sea area. *Estuar Coast Shelf Sci.* 2016;
118. Brooks SJ, Farmen E. The Distribution of the Mussel *Mytilus* Species Along the Norwegian Coast. *J Shellfish Res.* 2013;32(2):265–70.
119. Addison J. Population genetics of the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. Dalhousie University; 2004.
120. Addison JA, Hart MW. Analysis of population genetic structure of the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) using microsatellites. *Mar Biol.* 2004;144(2):243–51.
121. Norderhaug KM, Anglès d’Auriac MB, Fagerli CW, Gundersen H, Christie H, Dahl K, mfl. Genetic diversity of the NE Atlantic sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* unveils chaotic genetic patchiness possibly linked to local selective pressure. Bd. 163, *Marine Biology.* Berlin/Heidelberg; 2016.
122. So JJ, Uthicke S, Hamel J-F, Mercier A. Genetic population structure in a commercial marine invertebrate with long-lived lecithotrophic larvae: *Cucumaria frondosa* (Echinodermata: Holothuroidea). *Mar Biol.* 2011;158(4):859–70.
123. Prodöhl P, Jørstad K, Triantafyllidis A, Katsares V, Triantafyllidis C. Genimpact final scientific report. European lobster - *Homarus gammarus*. 2005.
124. Triantafyllidis A, Apostolidis AP, Katsares V, Kelly E, Mercer J, Hughes M, mfl. Mitochondrial DNA variation in the European lobster (*Homarus gammarus*) throughout the range. *Mar Biol.* 2005;146(2):223–35.
125. Ferguson A, Prodöhl P, Jørstad K, Triantafyllidis C. Genetic diversity in the European lobster (*Homarus gammarus*): population structure and impacts of stock enhancement



- [Internett]. 2002 [sitert 12. september 2016]. Tilgjengelig på: <http://www.qub.ac.uk/bb-old/prodohl/GEL/gel.html>
126. Jørstad KE, Prodöhl PA, Agnalt A-L, Hughes M, Apostolidis AP, Triantafyllidis A, mfl. Sub-arctic Populations of European Lobster, *Homarus gammarus*, in Northern Norway. *Environ Biol Fishes*. 2004;69(1):223–31.
  127. Johnson MP, Lordan C, Power AM. Habitat and Ecology of *Nephrops norvegicus*. *Adv Mar Biol*. 2013;64:27–63.
  128. Stamatis C, Triantafyllidis A, Moutou K, Mamuris Z. Allozymic variation in Northeast Atlantic and Mediterranean populations of Norway lobster, *Nephrops norvegicus*. *ICES J Mar Sci*. 1. juni 2006;63(5):875–82.
  129. Søvik G. Fakta om taskekrabbe [Internett]. [www.imr.no](http://www.imr.no). 2015 [sitert 12. september 2016]. Tilgjengelig på: <http://www.imr.no/temasider/skalldyr/taskekrabbe/nb-no>
  130. Ungfors A, McKeown NJ, Shaw PW, André C. Lack of spatial genetic variation in the edible crab (*Cancer pagurus*) in the Kattegat-Skagerrak area. *ICES J Mar Sci*. 2009;66(3):462–9.
  131. Ungfors A. Fisheries biology of the edible crab (*Cancer pagurus*) in the Kattegat and the Skagerrak - implications for sustainable management. Bd. PhD thesis, Faculty of Natural Sciences. 2008. 152 s.
  132. Breton S, Dufresne F, Desrosiers G, Blier PU. Population structure of two northern hemisphere polychaetes, *Neanthes virens* and *Hediste diversicolor* (Nereididae), with different life-history traits. *Mar Biol*. 2003;142(4):707–15.
  133. Hall E. Population Genetics and Tolerance in *Nereis diversicolor*. University of East Anglia; 2010.
  134. Andreassen O, Robertsen R, Hersoug B, Holm P. Konsekvensutredning- verktøy for mer bærekraftig akvakultur. Nofima-rapport 42/2011. Tromsø, Norway; 2011.
  135. Barrington K, Ridler N, Chopin T, Robinson S, Robinson B. Social aspects of the sustainability of integrated multi-trophic aquaculture. *Aquac Int*. 2010;18(2):201–11.
  136. Stévant P, Rebours C, Chapman A. Seaweed aquaculture in Norway: recent industrial developments and future perspectives. *Aquac Int*. 2017;
  137. Jarp J, Karlsen E. Infectious salmon anaemia (ISA) risk factors in sea-cultured Atlantic salmon *Salmo salar*. *Dis Aquat Organ*. 1997;28(2):79–86.
  138. Jansen H, Strand Ø, Cranford P, Handå A. Multitrofisk akvakultur: Hvordan går utviklingen? I: Havforskningsrapporten 2015 Fisken og havet, særnr 1–2015. HI; 2015. s. 44–6.



**BELLONA**

[www.bellona.no](http://www.bellona.no)

