

- IRIS Energi
- IRIS Samfunnsforskning
- IRIS Biomiljø
- ULLRIGG bore- og brønnsenter



RAPPORT – 2018/302


Mulige miljøeffekter av offshore-oppdrett

Renée Katrin Bechmann



Prosjektnummer: 7911995
Prosjektets tittel: Mini-review miljøutfordringer fra offshore akvakultur
Oppdragsgiver(e): Miljødirektoratet
Forskningsprogram:
ISBN: 978-82-490-0922-0
Gradering: Åpen

Stavanger, 06.08.2018



Renée Katrin Bechmann
Seniorforsker



Thierry Baussant
Forskningsleder, QA



Shaw Bamber
Deputizing for research
director

©Kopiering er kun tillatt etter avtale med IRIS eller oppdragsgiver.

Vår forskning er sertifisert etter et kvalitetssystem basert på NS-EN ISO 9001 og NS-EN ISO 14001:2004

Forord

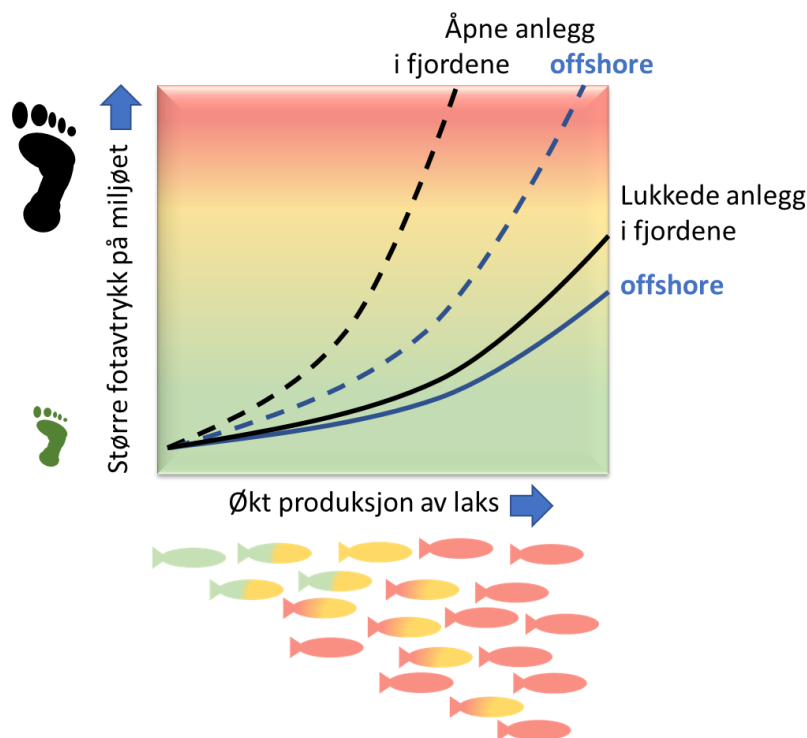
Rapporten er skrevet i juli 2018 på oppdrag fra Inger Marie Haaland i Miljødirektoratet. Oppgaven var å lage et mini-review som tok for seg publisert litteratur som kan være med å besvare følgende spørsmål: 1) Hvordan vil miljøpåvirkningen bli fra følgende type utslipp fra offshore akvakultur (matfiskproduksjon): organisk materiale (fôr-rester, fekalier, løste næringssalter), legemiddel (antar dagens legemidler), kjemikaliebruk (først og fremst impregnering, fremmedstoff i fôr); og 2) Hvilken miljørisiko vil utslipp fra offshore akvakultur (matfiskproduksjon) kunne gi på naturmangfold, sårbare arter og det marine økosystem? Mini-reviewet skal inkludere en tabell som gir en oversikt over positive og negative forhold med å drive akvakultur offshore sammenliknet med dagens matfiskproduksjon i norske fjorder.

Istedenfor en tabell har jeg laget små figurer som illustrerer fotavtrykket til offshoreanlegg sammenlignet med anlegg i fjordene. Rapporten (og spesielt figurene) er ment som et utgangspunkt for diskusjon om miljøskadelige utslipp fra åpne og lukkede oppdrettsanlegg, plassert offshore eller i fjordene, med eller uten økt produksjonen av laks. Figurene er en måte å oppsummere teksten på, men det er ikke umulig at jeg har misforstått noe. Ekspertene på miljøkonsekvenser av de ulike typene utslipp og på de ulike teknologiske mulighetene og begrensningene kan sikkert bidra med forbedringer. Jeg håper rapporten vil komme til nytte når myndighetene skal vurdere om vekst i produksjon av laks er bærekraftig, og hvor og hvordan laksen skal produseres for å minimere påvirkningen på naturen.

Innhold

FORORD	2
SAMMENDRAG	4
1. BAKGRUNN	6
1.1 Målet er vekst.....	6
1.2 Vekst, men bare hvis det er bærekraftig for naturen	6
1.3 Hvordan skal vi sørge for at veksten blir bærekraftig?	7
1.3.1 Lov og rett for oppdrett.....	7
1.3.2 Økosystemforvaltning	7
1.4 Arealplanlegging: Hvor skal anlegget ligge?.....	8
1.5 Oppdrettsanlegg med eller uten rensing av avløpsvannet	9
2. MINDRE FOTAVTRYKK OFFSHORE ENN I FJORDEN?	11
2.1 Utslipp av partikler: Fôr-rester og fekalier	11
2.2 Løste næringsalter	13
2.3 Om lakselus, leppefisk, rømt laks og medisiner	15
2.3.1 Lakselus plager ville laksefisker og rømt laks truer villaksen	15
2.3.2 Kysten støvsuges for leppefisk	16
2.3.3 Medisinbruken.....	16
2.4 Andre utslipp som kan skade livet i havet.....	18
2.4.1 Antibegroingsmidler	19
2.4.2 Plast	19
2.4.3 Formalin.....	20
2.5 Fremmedstoffer i fiskefôr.....	20
2.6 Energibruk - CO ₂ -avtrykk	21
2.7 Mer laks krever mer fôr: Er det bærekraftig?	22
2.8 Kombinerte effekter	23
LITTERATURLISTE	24

Sammendrag



Norge har som mål å femdoble produksjonen av laks innen år 2050, men kun hvis det er bærekraftig for naturen. Fotavtrykket (miljøpåvirkningen) fra produksjon av laks er blant annet avhengig av hvor anlegget plasseres. En optimal lokalitet har gode strømforhold, dypt vann og ligger langt fra alle områder man ønsker å beskytte. God arealplanlegging og lokalkunnskap om livet i havet er viktig for å plassere anleggene der de vil påvirke naturen minst mulig. Hvis man skal produsere laksen i åpne anlegg vil fotavtrykket antagelig bli mindre offshore enn i fjordene. Fotavtrykket fra produksjonen av laks er enda mer avhengig av type og mengde av potensielt miljøskadelige utslipp, enn av plasseringen av anleggene. Mengden utslipp er igjen avhengig av produksjonsteknologi og mengden laks som produseres. Lukkede anlegg vil beskytte laksen bedre mot rømming og lus, og dermed redusere behovet for bruk av medisin og leppefisk mot lus. I tillegg kan mesteparten av partiklene filtreres fra avløpsvannet istedenfor at de slippes ut og øker risikoen for overgjødning. Slammet kan gjenbrukes til biodrivstoff eller andre formål. Utslipp av medisinrester, kjemikalier og fremmedstoffer som bindes til partikler vil også reduseres når avløpsvannet filtreres, men løste næringssalter (N og P), løste kjemikalier (f.eks. kobber fra antibegroingsmidler og bademidler brukt mot lus) og de minste partiklene (f.eks. mikroplast) vil fremdeles slippes ut i havet. Hvis man velger lukkede anlegg er det mindre forskjell på fotavtrykket i fjorden og offshore, men siden den totale belastningen fra andre typer forurensning

er større i fjorden kan det være en fordel å plassere også lukkede anlegg offshore. Landbaserte anlegg kan være et enda bedre alternativ, men det er utenfor rammene av denne rapporten.

I tillegg til mulige miljøeffekter fra alt som slippes ut fra matfiskanlegget, så vil det bli et CO₂-avtrykk fra produksjon og drift av selve anlegget og alt som puttes inn i det (utstyr, smolt, fôr). Ikke minst vil det bli et betydelig fotavtrykk fra fôrproduksjonen. Økt produksjon av laks krever mer fôr som vil føre til større belastning på fiskebestandene som høstes og landarealene som brukes til å dyrke vegetabiliske ingredienser. Et positivt tiltak kan være å dyrke organismer som suger opp løste næringssalter (tare) og spiser partikler (blåskjell) sammen med laksen, og så bruker disse organismene som fôringredienser (IMTA).

Ved å velge de mest miljøvennlige produksjonsmetodene og optimal plassering av anlegget kan det være mulig å hindre at fotavtrykket på miljøet øker like mye som produksjonen. Flytting av åpne anlegg offshore kan bidra til å redusere fotavtrykket sammenlignet med åpne anlegg i fjordene. Men både lukkede anlegg og andre tiltak som reduserer utslipp og indirekte miljøpåvirkninger fra fôr-produksjon må tas i bruk hvis produksjonen av laks øke betydelig. Likevel vil det bli utfordrende å få til en femdobling av produksjonen av laks på en måte som er bærekraftig for naturen.

1. Bakgrunn

1.1 Målet er vekst

I 2016 ble det globalt produsert 80 millioner tonn akvakulturorganismer (fisk, skjell, krepsdyr, tare, etc) (FAO, 2018). Norge produserte 1,2 millioner tonn laks i 2017 (SSB, <https://www.ssb.no/fiskeoppdrett>). I tillegg ble det globalt fisket 80 millioner tonn sjømat, hvorav Norge bidro med 2 millioner tonn. FAO rapporten indikerer 30% vekst i norsk oppdrett fra 2016 til 2030 (FAO, 2018). Oppdrettsmeldingen (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015) viser til (Olafsen et al., 2012) og skriver at det estimeres et potensial for femdobling av produksjonen av laks og ørret innen 2050, sammenliknet med 2010. Sjømat Norge har ambisjoner om øke produksjonen til 5 millioner tonn innen 2050 (en femdobling sammenlignet med i 2010) (Sjømat Norge, 2017). Vekstambisjonene til Norsk Industri, der verdens største lakseoppdretter Marine Harvest er medlem (Berge, 2017), har enda mer ambisiøse mål for veksten. De skriver i sitt veikart for havbruksnæringen at næringen skal eksportere laks for mer enn 200 milliarder kroner i 2030 (Norsk Industri, 2017). Ifølge SSB ble det solgt laks for 61 milliarder i 2017 (Statistisk Sentralbyrå, 2018), og prisen på laks har vært høy. Det betyr minst en tredobling av produksjonen fra 2017 til 2030.

1.2 Vekst, men bare hvis det er bærekraftig for naturen

Oppdrettsmeldingen (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015) slår fast at miljømessig bærekraft er en forutsetning for veksten, og at «dette innebærer at det miljømessige fotavtrykket oppdrettsnæringen setter skal være innenfor de rammer samfunnet aksepterer». Det kan være en vesentlig forskjell på hva samfunnet aksepterer og hva naturen tåler. Det er viktig å lytte til fagfolk når planen er å drive bærekraftig havbruk, slik at økosystemservicen ikke blir dårligere for kommende generasjoner. Selv om det står at «**miljøpåvirkning må være den viktigste faktoren å ta hensyn til når vekst skal vurderes**» (side 40 i (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015)), så står det også følgende på side 36: «Som all annen matproduksjon setter lakseoppdrett et miljømessig fotavtrykk og påvirker miljøet rundt seg. Det er bred politisk enighet om at et visst avtrykk må aksepteres, men at produksjonen skal foregå innenfor miljømessige bærekraftige rammer». Naturens tålegrenser er lite påvirket av politisk enighet, så den helhetlige økosystemforvaltningen må sørge for at summen av alle fotavtrykkene fra ulike typer menneskelig aktivitet ikke reduserer naturmangfoldet eller endrer økosystemene på en måte som gjør at økosystemservicen blir dårligere for framtidige generasjoner. Naturen omtales nesten utelukkende i økonomiske termer når man snakker om bærekraftig utvikling. Den omtales som tjenesteyter og produsent, og tjenestene den produserer er økosystemtjenester (Bjærke, 2017, 2018). I den siste stortingsmeldingen om naturmangfold nevnes økosystemtjenester 95 ganger og naturens egenverdi kun én gang (Klima- og Miljødepartementet, 2015a). Bjærke skriver at «Hvis vi bare snakker om naturen som tjenesteyter, mister vi noe. Selv om vi kanskje får mer oppmerksomhet rundt det faktum at naturen gir oss noe vi trenger, mister vi muligheten til å uttrykke verdier som ikke er knyttet til mennesket som mottager og naturen som produsent» (Bjærke, 2018).

Norsk Industri og Sjømat Norge kom med hvert sitt ambisiøse dokument i 2017 der de beskriver hvordan økt produksjon av laks skal foregå på en bærekraftig måte (Norsk Industri, 2017) (Sjømat Norge, 2017). Norsk Industri skriver eksplisitt at de «setter biologien og naturens bæreevne foran vekst» (Norsk Industri, 2017). Sjømat Norge slår fast at «Havbruksnæringen skal innen 2030 redusere sine miljømessige fotavtrykk». Det er et ambisiøst mål når produksjonen skal dobles i samme tidsperiode (Sjømat Norge, 2017).

1.3 Hvordan skal vi sørge for at veksten blir bærekraftig?

1.3.1 Lov og rett for oppdrett

Når målet er å drive bærekraftig oppdrett er det viktig at lov og rett for oppdrett tar tilstrekkelig hensyn til miljøet. I en presentasjon som er tilgjengelig på nettet går Christian Prip fra Fridtjof Nansens Institutt gjennom politiske ambisjoner om vekst i oppdrett i Norge og Danmark og alle de ulike lover og regler landene har forpliktet seg til å følge (Prip, 2016). Prip konkluderer at det er en mismatch mellom politiske ambisjoner om vekst i oppdrettsnæringen og juridiske forpliktelser mht miljøet (Prip, 2016).

I Fiskeridirektoratets brev om vedtak ifb søknader om utviklingstillatelser er lovverket oppsummert på følgende måte: «Akvakultur vil etter sin art innebære en påvirkning av miljøet. Tillatelse til akvakultur innebærer at myndighetene har akseptert en viss påvirkning av det omkringliggende miljø, se Ot. prp. nr. 61 (2004-2005) s. 65. Kravet til miljømessig forsvarlighet, jf. akvakulturloven §§ 6 og 10 setter imidlertid grensen for akseptert påvirkning ved skadelige konsekvenser. Også formålet med akvakulturloven som er å fremme akvakulturnæringens lønnsomhet og konkurransekraft innenfor rammene av en bærekraftig utvikling, vil kunne sette grenser. Akvakulturregverket skal sørge for at driften skjer på en miljømessig forsvarlig måte. jf. naturmangfoldloven § 8. føre-vår prinsippet, jf. naturmangfoldloven § 9, Økning i samlet belastning, jf. naturmangfoldloven § 10». Det kan være utfordrende å håndheve en lov som både skal fremme lønnsomhet og konkurransekraft og sørge for at driften skjer på en miljømessig forsvarlig måte. Derfor er det viktig å huske på at Oppdrettsmeldingen har slått fast at «miljøpåvirkning må være den viktigste faktoren å ta hensyn til når vekst skal vurderes» (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015).

1.3.2 Økosystemforvaltning

Norge har forpliktet seg til å følge FNs bærekraftsmål, og når det gjelder lakseoppdrett er mål 14 spesielt viktig: Bevare og bruke hav og marine ressurser på en måte som fremmer bærekraftig utvikling (Departementene, 2016; UnitedNations, 2015). Selv om Norge ikke har forpliktet seg til å følge EUs Havstrategidirektiv (kun Vanddirektivet), så er målet å drive en helhetlig økosystembasert forvaltning (Arneberg et al. gir en oversikt over relevante avtaler og prosesser som omhandler miljøforvaltningen (Arneberg et al., 2018), se også (Huse et al., 2018; Sander, 2018)). I havmiljømeldingen ble det fremmet en mer økosystembasert og sektorovergripende havmiljøpolitikk med helhetlige forvaltningsplaner som verktøy (Utenriksdepartementet, 2002). Dette ble videreført i forvaltningsplaner for Norskehavet (Klima- og Miljødepartementet, 2017), Nordsjøen (Miljøverndepartementet, 2013) og Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten (Klima- og Miljødepartementet, 2015b) (og tidligere versjoner av disse). Forvaltningsplanene skal gi overordnede rammer for eksisterende og ny virksomhet i havområdene, og legge til rette for sameksistens mellom næringer innenfor rammen av en bærekraftig utvikling. Utvalgte indikatorer (arter på bunn og i vannet, ved kysten og ute i havet) blir overvåket for å følge med på miljøtilstanden og en overvåkingsgruppe bidrar med kunnskapsgrunnlaget som trengs for å videreutvikle forvaltningsplanene (Arneberg et al., 2017; Arneberg et al., 2016; Arneberg et al., 2018; Framstad, 2015). MAREANO programmet kartlegger dybde, bunnforhold, naturtyper og forurensning i norske havområder (http://www.mareano.no/om_mareano). I tillegg til myndighetenes overvåking av indikatorartene finnes det verdifull bakgrunnsinformasjon fra områder med offshore olje- og gass virksomhet. Det har blitt utført havbunnsundersøkelser i 30 år i tillegg til vannsøyleovervåking (Bakke et al., 2013; Bjørgesæter, 2008; Norsk_Olje_og_Gass, 2018).

Betyr det noe for miljøet at Norge ikke har forpliktet seg til å følge Havstrategidirektivet (EU, 2017) eller Maritime Spatial Planning Directive og at vi isteden har vår egen variant av økosystemforvaltning? Det viktige er hvilke miljøhensyn som tas når vi bestemmer hvor og

hvordan vi skal drive offshore oppdrett – eller om vi heller skal drive oppdrett i lukkede anlegg nær kysten eller på land. Bruk av Marine Spatial Planning for områder utenfor California-kysten viste at hvis man planla bruken av havet på en god måte så burde det være miljømessig forsvarlig å ha offshore oppdrett (Lester et al., 2018). Hvilken metode som brukes til å planlegge arealbruken og hvilken type økosystemforvaltning vi har er kanskje ikke så viktig bare hensynet til naturen kommer foran næringsutvikling som kan være økonomisk bærekraftig på kort sikt men ikke på lang sikt.

1.4 Arealplanlegging: Hvor skal anlegget ligge?

FAO rapporten «*Expanding mariculture farther offshore: technical, environmental, spatial and governance challenges*» gir en god oversikt over alle sider ved offshoreoppdrett globalt (Lovatelli et al., 2013; Olsen et al., 2010). Oppdrettsmeldingen er opptatt av at utviklingen av offshoreanlegg vil gjøre det aktuelt å produsere oppdrettsfisk på store arealer langs kysten der det er antatt lavere konfliktpotensial (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015). Det er allerede gitt utviklingstillatelser til noen få offshore oppdrettsanlegg og mange søknader som kom inn i 2017 er under behandling i Fiskeridirektoratet. Før man gir tillatelse til plassering av nye offshoreanlegg er det viktig at man tenker grundig igjennom arealplanleggingen av havområdene for å være trygg på at man plasserer oppdrettsanlegg og annen industri- og næringsvirksomhet slik at fotavtrykket blir minst mulig.

Når det gjelder arealplanlegging i forbindelse med offshore oppdrett så er FNs bærekraftsmål 14.5 relevant: «Innen 2020 bevare minst ti prosent av kyst- og havområdene, i samsvar med nasjonal rett og folkeretten og på grunnlag av den beste vitenskapelige kunnskapen som er tilgjengelig». I følge den globale indikator databasen er det 0,75 prosent av norske marine områder som er beskyttet (Nørgaard et al., 2018).

Norge har lovet FN å verne ti prosent av havområdet vårt. Her er en liten inspirasjons-digresjon om vernede områder.



Sylvia Earle, grunnlegger og leder av organisasjonen *Mission Blue*, jobber for å ta vare på havet ved å opprette vernede områder kalt *Hope Spots*. Høsten 2017 kom hun til Stavanger for å motta Rachel Carson prisen for sin innsats for havet. Earle fikk også overrakt en søknad om å opprette en Hope Spot på Jærkysten, og daværende klima- og miljøminister Vidar Helgesen fikk hoppe i bølgen sammen med «Her Deepness», eller «Hero of the Planet» som Earle ble kåret til av *Time* magazine i 2017. I juni 2018 ble Jærens Rev en ny Hope Spot. Sylvia Earle mener at den eneste måten å drive bærekraftig oppdrett på er i landbaserte anlegg med resirkulering av vannet, og hun er generelt skeptisk til å drive oppdrett på rovfisk som trenger fôr som inneholder fisk (Earle, 2009). (Bildet til venstre er tatt av Erling Svensen, og bildet til høyre er tatt av Marie von Krogh. Begge bildene er lånt fra mission-blue.org).

For miljøet er det viktig at man ser helheten og utvikler en arealplan som inkluderer 10% vernede områder og tilstrekkelig avstand mellom de vernede områdene og offshore oppdrettsanlegg og annen type næringsvirksomhet offshore (Klinger et al., 2018; Thesen et al., 2013). Det kan være

relevant å vurdere å plassere offshore oppdrettsanlegg nær nedlagte oljefelt slik at utslipp havner der bunnen allerede er påvirket.

Vi har i dag en rekke akvakulturanlegg som ligger slik plassert at de potensielt kan ha negativ påvirkning på rødlista naturtyper og arter (Husa et al., 2016). Oppdrettsanlegg offshore bør plasseres et sted der utslippene ikke ender opp i sårbare naturtyper (f.eks. korallrev, *Lohelia*), nøkkelområder for spesielle arter og bestander (f.eks. gyteområde for viktige fiskearter) og/eller påvirker sårbare arter (f.eks. villaks og sjøørret) (Husa et al., 2016). Basert på grundig naturtypekartlegging og vurdering av spredningspotensialet for utslipp fra anlegget (slik Husa et al. anbefaler), kan man vurdere hvor det er best å plassere anleggene. Når man vet hvor langt det er til nærmeste område der det lever arter som er spesielt følsomme for utslipp fra oppdrettsanlegg (Husa et al., 2016) kan man bruke ulike typer modellering til å beregne hvor mye utslipp det vil komme fra det planlagte anlegget, hvordan det vil spres og hvilke konsekvenser det kan få for miljøet (Bannister et al., 2016; Ferreira et al., 2014; Maar et al., 2018). Utslipp og konsekvenser for miljøet vil avhenge av hvilken type anlegg man velger og hvor mye laks man skal produsere. Basert på kartlegging av områder som krever vern og estimering av spredning og potensielle effekter av utslipp kan man ta en fornuftig avgjørelse om hvor anlegget vil gjøre minst skade på naturen. Men selv om man plasserer anlegget passelig langt fra de mest sårbare områdene så betyr det ikke null-effekt. Alle marine organismer sitter ikke rolig på et sted, plankton driver med strømmene og både fisk, krepsdyr og andre dyr kan føle seg fristet til å komme å spise på matrestene fra et åpent oppdrettsanlegg. Dessuten lever det selvfølgelig ulike organismer også på steder man ikke er spesielt opptatt av å verne, slik at selv om arealplanleggingen er god så kan det være vanskelig å unngå negative effekter på miljøet. Selv om det har vært forsket på havet i mange år er det fremdeles mye vi ikke vet om økosystemene i havet og enda mer vi ikke forstår om hvordan ulike menneskelige aktiviteter påvirket livet i havet (Framstad, 2015). Dermed er det vanskelig å si med sikkerhet hvor og hvor mange anlegg av ulikt slag (olje og gass, oppdrett og annet) det er akseptabelt å plassere offshore uten at økosystemservicen går ned. Det er viktig å slå fast hvor stort et akseptabelt avtrykk kan være, f.eks. hvor mange kilometer fra anlegget man skal man skal kunne måle komponenter i utslippet (f.eks. soya, økt mengde organisk materiale, næringssalter, kjemikalier, etc). Og det er viktig å ha et klart regelverk for hva som skjer hvis avtrykket øker over den fastsatte grensen.

Her er artikler og rapporter som utdyper betydningen av og ulike metoder for arealplanlegging i havet: (Aguilar-Manjarrez, 2017; FAO, 2018; Ferreira et al., 2014; Gentry et al., 2017; Holmer, 2010; Kapetsky et al., 2013; Maar et al., 2018).

Er gode strømforhold alltid bra? Plassering av anlegg på lokaliteter med gode strømforhold kan redusere risiko for overgjødning fordi partikler og løste næringssalter spres raskt. Men det er ikke ønskelig at giftige kjemikalier spres over store områder, spesielt ikke hvis de i tillegg brytes ned svært sakte (som flubenzuroner, pyretroider, og emamectin i lakselusmedisin, miljøgifter i fiskefôret, eller mikroplast fra fôrslanger) eller ikke i det hele tatt (som kobber fra antibegroingsmidler). Selv kjemikalier med ganske rask nedbrytning (som hydrogenperoksid brukt mot lakselus) kan være en risiko for krepsdyr fordi de er giftige selv når løsningen er svært fortennet. Når giftige og tungt nedbrytbare forbindelser spres over store områder blir det nærmest umulig å rydde opp hvis den totale mengden av skadelige stoffer på bunnen blir for høyt. Reduksjon av bruken av giftige og tungt nedbrytbare kjemikalier ville vært det beste.

1.5 Oppdrettsanlegg med eller uten rensing av avløpsvannet

Det meste av oppdrettslaksen blir produsert i åpne anlegg i fjorden eller nær kysten. I disse anleggene er det ingen form for rensing av vannet som går inn og ut. Det finnes også delvis lukkede anlegg i fjordene og flere skal det bli, f.eks. har Egget fått utviklingstillatelse fra Fiskeridirektoratet (vedtak inkludert beskrivelse av prosjektet er tilgjengelig på direktoratets nettside). For mer informasjon om lukkede anlegg se (Espmark, 2018; Haaland, 2017; Nilsen et

al., 2017; Olsen et al., 2010; Rosten et al., 2013; Rosten et al., 2011; Teknologirådet, 2012; Terjesen, 2015) og referanser i disse. I lukkede eller delvis lukkede anlegg kan man beskytte laksen bedre mot lakselus, redusere risiko for rømming og rense vekk en stor andel av partikler fra avløpsvannet.

Oversikt over alle søknader og vedtak, inkludert beskrivelser av alle anlegg som har fått utviklingstillatelse, er tilgjengelig på Fiskeridirektoratets nettside. Kyst.no har oppsummert alle utviklingskonseptene det ble søkt om til Fiskeridirektoratet i 2017 og konkluderer med at lukket og semi-lukket teknologi er mest populært hos de som søker om utviklingstillatelse (Berthelsen et al., 2017). Tre offshoreanlegg har fått utviklingstillatelse fra Fiskeridirektoratet og alle er åpne anlegg med mye større kapasitet enn dagens åpne anlegg i fjordene. Det er viktig å ha det i bakhodet når man skal si noe fornuftig om hva som er best for miljøet av anlegg i fjordene og anlegg offshore. Det dreier seg om Havmerden (Ocean Farm 1) til Salmar, NRS og Aker sitt anlegg Arctic Offshore Farming og Nordlaks sin Havfarm. De to første er halvt nedsenkbare installasjoner basert på teknologi brukt i olje- og gassnæringen, og Nordlaks sin Havfarm er et langt og slankt skipslignende oppdrettsanlegg i stål. Det er også søkt om å få utvikle lukkede offshoreanlegg, f.eks. «Spidercage» (se Fiskeridirektoratets oversikt). Det er betydelig størrelse på endel av anleggene man ønsker å bygge offshore, f.eks. vil Havfarmen bli 430 meter lang og 54 meter bred. Økt produksjonen av laks vil kreve større arealer i fjordene, på land og/eller offshore.

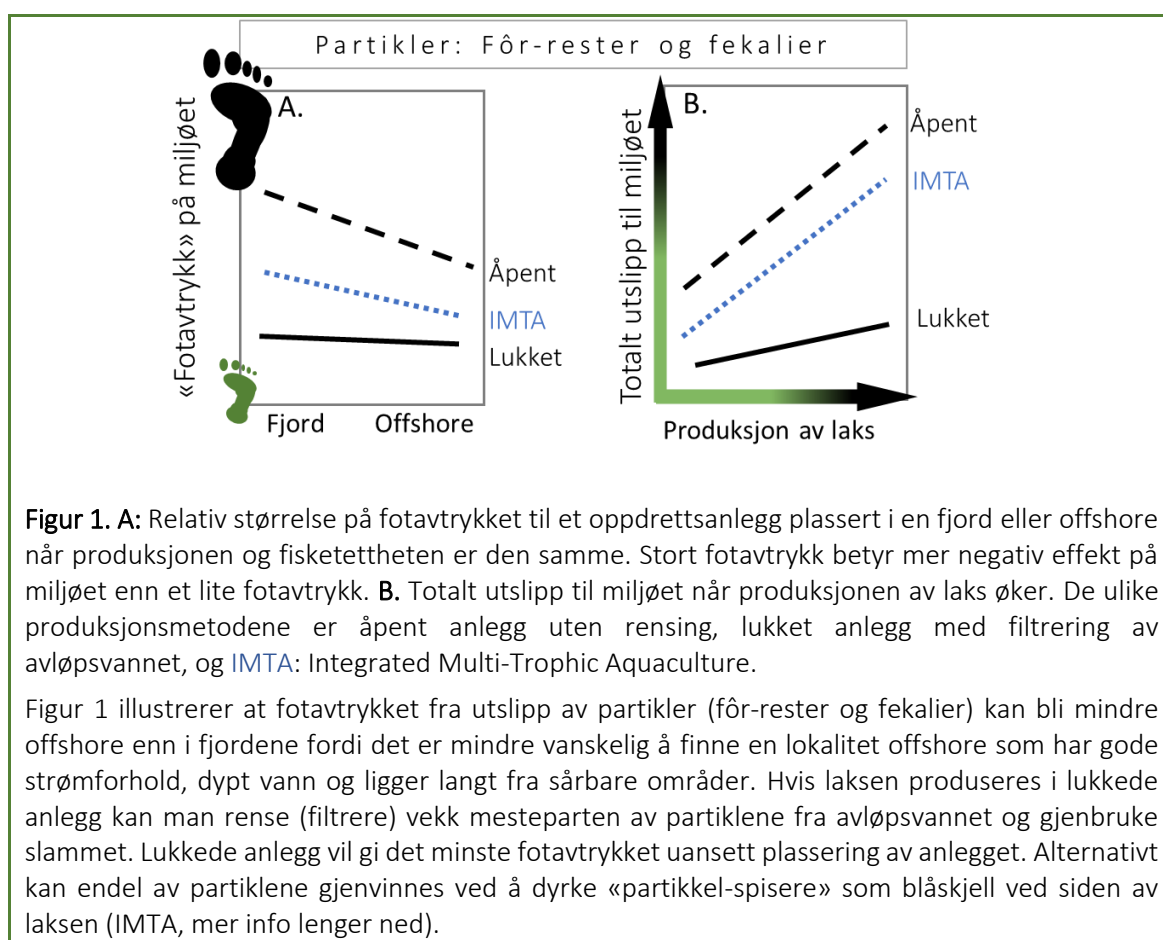
Landbasert oppdrett med gjennomstrømmede vann eller resirkulering (RAS) av vannet er vanlig for produksjon av smolt og RAS har blitt stadig mer vanlig (Bergheim et al., 2009; Kolarevic et al., 2014). Laksen kan produseres til markedsstørrelse i landbaserte RAS anlegg (Davidson et al., 2016a; Davidson et al., 2016b), og nå bygges det flere landbaserte anlegg for matfisk i Norge (f.eks. Nordic Aquafarms).

Norsk Industri har følgende mål: «Innen 2030 må oppdrett av laks skje med en teknologi som eliminerer problemene med lakselus, hindrer rømming og tar vare på verdien av partikulært materiale» (NorskIndustri, 2017). Sett i sammenheng med målet om å drive på en bærekraftig måte for naturen må det bety at de planlegger å bruke en variant av lukket anlegg.

2. Mindre fotavtrykk offshore enn i fjorden?

Målet med denne rapporten er å gi et grunnlag for å vurdere om fotavtrykket fra produksjon av laks offshore vil bli større eller mindre enn det er i fjordene. De viktigste poengene er oppsummert i enkle figurer med tilhørende forklaring. Siden dette skal være et review er teksten full av referanser. Den mest siterte rapporten er «Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2018» som utgis av Havforskningsinstituttet hvert år og er en grundig gjennomgang av status for norsk fiskeoppdrett, inkludert referanser til relevante rapporter og artikler (Grefsrud et al., 2018). Det finnes også litt mindre omfangsrike oversiktsartikler om miljøeffekter av oppdrett, f.eks. (Braaten, 2007), som fokuserer spesielt på ulike overvåkingsmetoder.

2.1 Utslipp av partikler: Fôr-rester og fekalier



Figur 1. A: Relativ størrelse på fotavtrykket til et oppdrettsanlegg plassert i en fjord eller offshore når produksjonen og fisketettheten er den samme. Stort fotavtrykk betyr mer negativ effekt på miljøet enn et lite fotavtrykk. **B.** Totalt utslipp til miljøet når produksjonen av laks øker. De ulike produksjonsmetodene er åpent anlegg uten rensing, lukket anlegg med filtrering av avløpsvannet, og IMTA: Integrated Multi-Trophic Aquaculture.

Figur 1 illustrerer at fotavtrykket fra utslipp av partikler (fôr-rester og fekalier) kan bli mindre offshore enn i fjordene fordi det er mindre vanskelig å finne en lokalitet offshore som har gode strømforhold, dypt vann og ligger langt fra sårbare områder. Hvis laksen produseres i lukkede anlegg kan man rense (filtrere) vekk mesteparten av partiklene fra avløpsvannet og gjenbruke slammet. Lukkede anlegg vil gi det minste fotavtrykket uansett plassering av anlegget. Alternativt kan endel av partiklene gjenvinnes ved å dyrke «partikkel-spisere» som blåskjell ved siden av laksen (IMTA, mer info lenger ned).

Utslipp av fôr-rester og fekalier er hovedsakelig et problem for de som lever på bunn (nedslamming, endret biomasse og artssammensetning, oksygenmangel) (Grefsrud et al., 2018). Et offshore anlegg vil hindre at områder med tareskog og sjøgressenger og andre naturtyper som kun finnes på grunnere vann kan bli påvirket av utslippene selv om det er åpent anlegg. Men det finnes sårbare naturtyper også offshore (f.eks. dypvannskoraller, svamp, gytefelt for viktige fiskearter etc.) så god arealplanlegging er avgjørende (se over, og (Husa et al., 2016)).

Utslipp av fôr-rester kan også være et problem for «reste-spisere». Ville fisk (f.eks. sei) og krepsdyr (f.eks. reke) og andre arter som kan svømme eller krype kan bli tiltrukket av mulighetene for et gratis måltid (Fernandez-Jover et al., 2011; Olsen et al., 2009, 2012; White et al., 2018). På denne måten kan de også få i seg rester av medisin, kjemikalier og andre ting de ikke tåler. Hvis

man ikke trenger å bruke kjemikalier/medisin for å behandle laksen mot lus offshore, så vil de negative effektene på krepsdyr som spiser rester bli mindre, men også andre giftige stoffer blir brukt, f.eks. antibegroingsmidler med kobber.

Det er estimert at det ble sluppet ut mellom 540 000 og 670 000 tonn fekalier og fôrspill fra norske matfiskanlegg i 2017 (Grefsrud et al., 2018). Spredningsmodeller viser at organisk avfall fra oppdrett kan spres over store områder av et fjordsystem (Bannister et al., 2016). En liten andel av det organiske materialet kan ende opp mer enn 2 km fra anlegget. Dette er viktig informasjon når man skal planlegge egnede lokaliteter for oppdrett. Basert på denne spredningsmodellen bør en plassere anlegg mer enn 2 km vekk fra områder man ikke vil påvirke. Hvis det er dypt vann og gode strømforhold blir det kun begrensede negative effekter på bunnen (Bannister et al., 2014), men hvis det er for lite strøm (<2 cm/s), hjelper det ikke at vannet er dypt, det blir likevel negative effekter på bunnen (Valdemarsen et al., 2012; Valdemarsen et al., 2015). Basert på resultater fra MOM undersøkelsene konkluderer Havforskningsinstituttet at det er liten risiko for overgjødsling (Grefsrud et al., 2018; Standard Norge, 2016; Taranger et al., 2015). Spørsmålet er hvor stor økning i utslipp av organisk materiale naturen tåler. Hvis produksjonen skal foregå i åpne anlegg vil utslippene øke proporsjonalt med mengden laks som produseres. Sjømat Norge skriver følgende i sin Havbruk2030 strategi: «Havbruksnæringen skal med økt produksjon ikke øke sitt utslipp av slam og næringssalter slik at det truer økosystemet i havet» (Sjømat Norge, 2017). Betyr det at utslippene ikke skal øke, eller betyr det at de økte utslippene ikke skal påvirke naturen? Hvis utslippet av slam ikke skal øke når produksjonen øker så må laksen produseres i lukkede anlegg som renser vekk mesteparten av partiklene fra avløpsvannet. Slammet kan brukes til biodrivstoff, gjødsel, sementproduksjon (Norsk Industri, 2017).

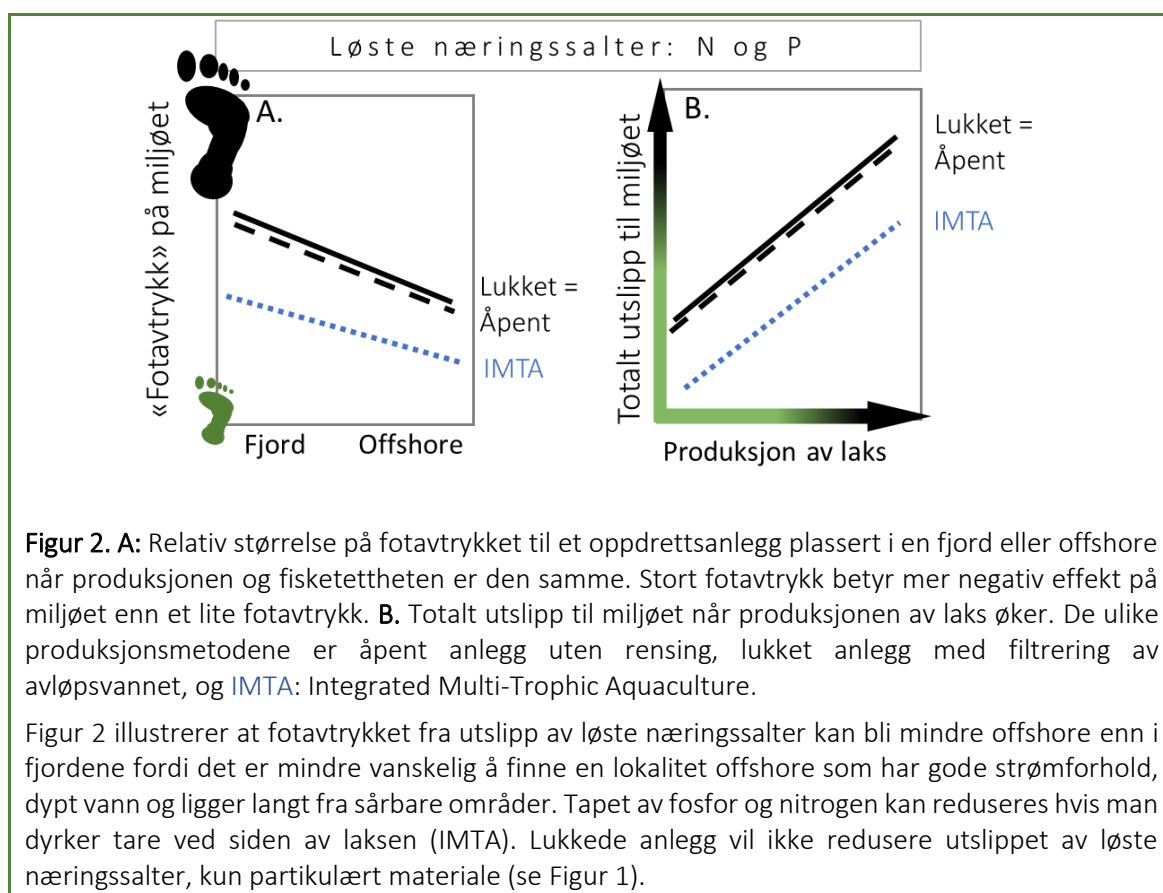
IMTA. Ved å dyrke organismer som filtrerer partikler (f.eks. blåskjell) og suger opp løste næringssalter (f.eks. tare) ved siden av laksen kan man redusere risiko for overgjødsling (Price et al., 2015). Muligheter og begrensninger med integrert multi-trofisk akvakultur (IMTA) er diskutert i (Granada et al., 2016) og mer spesifikt for offshore oppdrett i (Troell et al., 2009). De er positive til å dyrke blåskjell og tare sammen med laks slik det blir gjort i Canada av Thierry Chopin & co (Chopin, 2013, 2015; Chopin et al., 2012, 2013). Men ikke alle er like sikre på at IMTA med blåskjell og tare er den beste løsningen. To motargumenter er at det vil ta for stor plass og likevel ikke ta opp nok partikler og næringssalter. Se f.eks. (Bergheim, 2015; Brager et al., 2015, 2016; Cranford et al., 2013; Sanz-Lazaro og Sanchez-Jerez, 2017). Wang *et al.* konkludere at tare fungerer bra for å suge opp løste næringssalter, men blåskjell hadde mindre potensiale til å ta opp partikler fra lakseoppdrett (Wang et al., 2014; Wang et al., 2012). Filgueira *et al.* har foreslått å heller plassere arter som spiser partikler under oppdrettsanlegget (Filgueira et al., 2017). Taren og blåskjellene kan brukes som mat eller som ingrediens i fiskefôr (Árnason et al., 2015; Thorarinsdottir et al., 2011), gjødsel eller biodrivstoff (Fernand et al., 2017). Blåskjell eller andre organismer som dyrkes sammen med laksen (IMTA) vil kunne ta opp en del av fremmedstoffene, rester av legemidler, kobber fra antibegroingsmidler og andre kjemikalier bruk i anlegget. Dette kan sees på som rensing av vannet, men innholdet av uønskede kjemikalier vil kunne begrense muligheten til å bruke blåskjell og andre IMTA organismer som fôringrediens eller til menneskemat (Karlsson-Drangsholt og van Nes, 2017).

Et mulig tiltak for å redusere fotavtrykket fra fôr-rester og fekalier er å plassere anlegget langt fra sårbare områder (se over) og på et sted der partiklene blir spredd raskt og effektivt (gode strømforhold og dypt vann). Et problem som på ingen måte løses med å «spre skiten bedre» (mer strøm, dypt vann) er tapet av fosfor. Den globale knappheten av uorganisk fosfor (Cordell og White, 2011) vil ifølge Rosten *et al.* være drivende for fangst og gjenvinning av fosfor fra all matvareproduksjon, også akvakultur (Rosten et al., 2013).

Overvåking. Selv om det fremdeles er en jobb å gjøre på metodeutvikling kan det bli mulig å måle spor av utslipp fra åpne anlegg ved å finne igjen komponenter i fiskefôret i sediment og i organismer som spiser partikler (Kusche et al., 2017, 2018; Woodcock et al., 2017) (Garcia-Sanz

et al., 2011). Overvåking av livet på havbunnen kan gjøres ved å hente opp prøver av småkryp slik man gjør i MOM undersøkelsene (Standard Norge, 2016), men det utvikles også ulike molekylære metoder for overvåking av livet i havet vha metabarkoding og eDNA (Stoeck et al., 2018a,b, Pochon et al., 2015) og ved å analysere bilder/video tatt med ulike kamerasystemer (Denney et al., 2017; Ecotone, 2017; Ferrari et al., 2018). De nye metodene kan bli verdifulle verktøy i tillegg til dagens undersøkelser av bunndyrsamfunn. Mens forskerne jobber med å optimalisere disse metodene er det viktig å bruke føre-var prinsippet hvis det er tvil hos fagfolk når det gjelder hvordan oppdrett påvirker livet i havet. Blanchard *et al.* diskuterer hvordan man kan håndtere usikkerhet om miljøkonsekvenser og bruk av føre-var prinsippet i forbindelse med olje og gassvirksomheten (Blanchard et al., 2014). Artikkelen er også relevant når man diskuterer miljøeffekter av oppdrett.

2.2 Løste næringsalter



Figur 2. A: Relativ størrelse på fotavtrykket til et oppdrettsanlegg plassert i en fjord eller offshore når produksjonen og fisketettheten er den samme. Stort fotavtrykk betyr mer negativ effekt på miljøet enn et lite fotavtrykk. **B.** Totalt utslipp til miljøet når produksjonen av laks øker. De ulike produksjonsmetodene er åpent anlegg uten rensing, lukket anlegg med filtrering av avløpsvannet, og IMTA: Integrated Multi-Trophic Aquaculture.

Figur 2 illustrerer at fotavtrykket fra utslipp av løste næringsalter kan bli mindre offshore enn i fjordene fordi det er mindre vanskelig å finne en lokalitet offshore som har gode strømforhold, dypt vann og ligger langt fra sårbare områder. Tapet av fosfor og nitrogen kan reduseres hvis man dyrker tare ved siden av laksen (IMTA). Lukkede anlegg vil ikke redusere utslippet av løste næringsalter, kun partikulært materiale (se Figur 1).

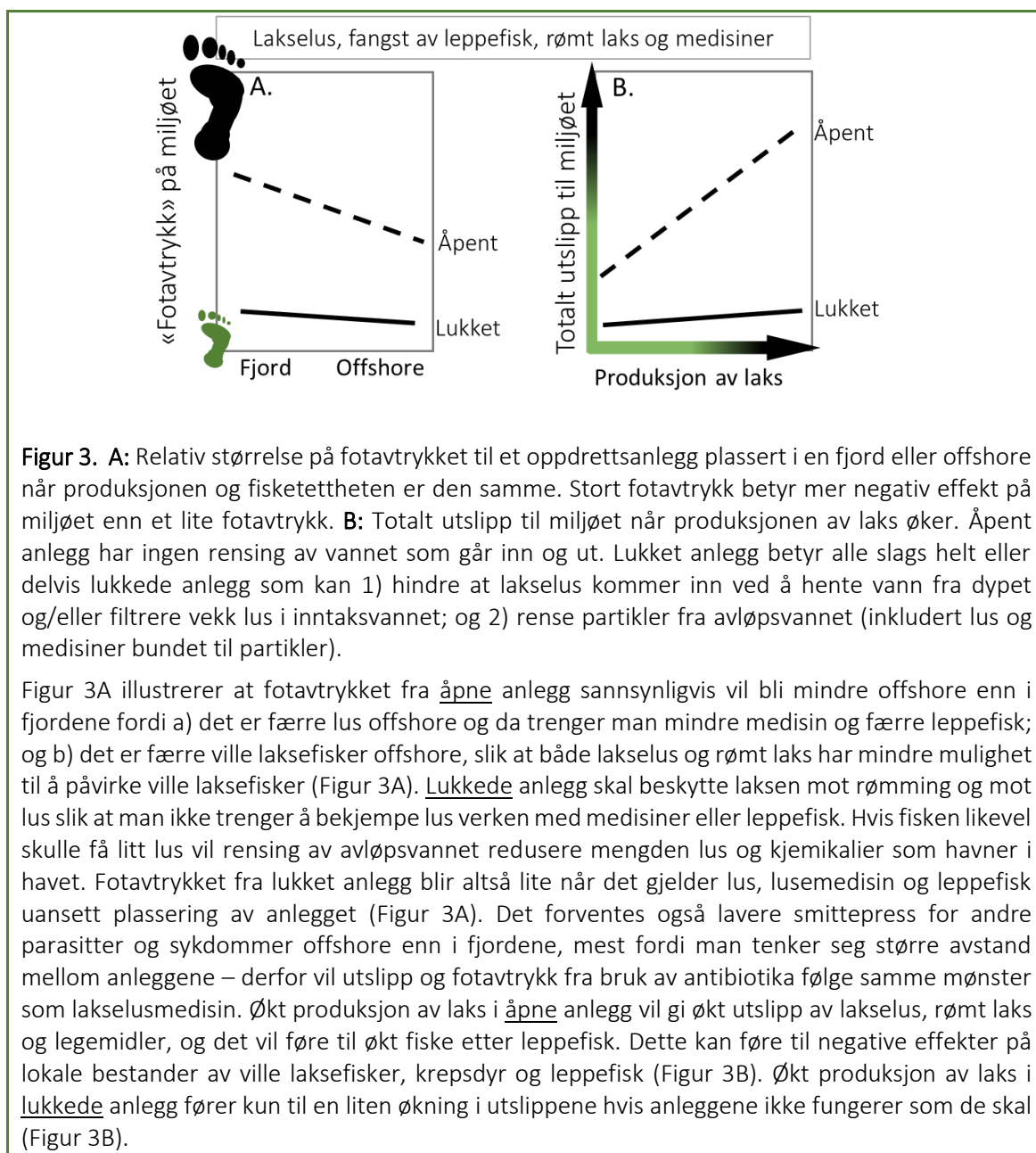
Utslipp av løste næringsalter er mest et problem for de som lever i vannet, men indirekte også for de som lever på bunn. Overgjødning kan gi kraftigere og lengre algeoppblomstringer, og rester av algene kan skape problemer for de som lever på bunnen. Utslippene av næringsalter fra oppdrettsnæringen sto for 74% av totalt fosfor og 35% av totalt nitrogen som ble sluppet ut i havet i 2016, og mengden som slippes ut har økt i Norge de siste ti årene i motsetning til for andre OSPAR land der utslippene er redusert (Arneberg et al., 2018; Skarbøvik et al., 2017). Oppdrettsanleggene i Norge har blitt flyttet til steder med mer strøm og større dyp slik at næringssaltene spres raskt. Selv om økte konsentrasjoner av næringsalter gir økt vekst av alger (Olsen et al., 2014) så konkluderes det med at næringssaltutslippene fra oppdrettsanleggene vanligvis ikke fører til betydelig overgjødning med dagens produksjon av laks (Grefsrud et al., 2018; Price et al., 2015). Det er imidlertid dokumentert lokale overgjødningseffekter i strandsonen, i grunne skjellsandsområder og på tarebanker (Grefsrud et al., 2018).

Offshoreanlegg vil ligge langt fra disse grunne naturtypene og vil derfor ikke føre til denne typen effekter. Selv om utslippene av næringsalter ikke fører til dramatiske effekter i fjordene med dagens produksjon, er det ikke umulig at økt produksjon av laks og tilhørende økte utslipp av løste næringsalter vil kunne føre til overgjødning selv om anlegg plasseres på lokaliteter med gode strømforhold og dypt vann offshore.

Hvis man flytter produksjonen til RAS anlegg på land istedenfor å flytte den offshore kan man bruke nitrogen og fosfor i avløpsvannet til å dyrke mikroalger som kan inngå i fiskefôr (Eide, 2017). I forbindelse med offshore oppdrett er dyrking av tare ved siden av laksen en mer bærekraftig måte å redusere tap av løste næringsalter på. Bellonas miljøkonsekvensanalyse av integrert havbruk (IMTA) i Norge konkluderte med at det er makroalger som forventes å kunne ha den største reduserende effekten på utslipp av næringsstoffer fra fiskeoppdrett (Karlsson-Drangsholt og van Nes, 2017).

Som nevnt i avsnittet om partiklene skriver Sjømat Norge i sin Havbruk2030 strategi at: «Havbruksnæringen skal med økt produksjon ikke øke sitt utslipp av slam og næringsalter slik at det truer økosystemet i havet» (Sjømat Norge, 2017). Selv om man filtrerer partikler fra avløpsvannet så vil utslipp av løste næringsalter øke når produksjonen øker, siden mesteparten av totalt nitrogen og minst 20% av totalt fosfor er i løst form (Cripps og Bergheim, 2000). Antagelig mener Sjømat Norge at *effektene* av økte næringsaltutslipp ikke skal true økosystemene. Det er i så fall viktig at overvåkingen er grundig nok til å kunne oppdage tidlige tegn på overgjødning. Det er ikke enkelt å dokumentere tidlige endringer i næringsalter og plankton, men Olsen *et al.* har laget forslag til overvåkingsstrategi for effekter av økte mengder med næringsalter (Olsen *et al.*, 2014).

2.3 Om lakselus, leppefisk, rømt laks og medisiner



Figur 3. A: Relativ størrelse på fotavtrykket til et oppdrettsanlegg plassert i en fjord eller offshore når produksjonen og fisketettheten er den samme. Stort fotavtrykk betyr mer negativ effekt på miljøet enn et lite fotavtrykk. **B:** Totalt utslipp til miljøet når produksjonen av laks øker. Åpent anlegg har ingen rensing av vannet som går inn og ut. Lukket anlegg betyr alle slags helt eller delvis lukkede anlegg som kan 1) hindre at lakselus kommer inn ved å hente vann fra dypt og/eller filtrere vekk lus i inntaksvannet; og 2) rense partikler fra avløpsvannet (inkludert lus og medisiner bundet til partikler).

Figur 3A illustrerer at fotavtrykket fra åpne anlegg sannsynligvis vil bli mindre offshore enn i fjordene fordi a) det er færre lus offshore og da trenger man mindre medisin og færre leppefisk; og b) det er færre ville laksefisker offshore, slik at både lakselus og rømt laks har mindre mulighet til å påvirke ville laksefisker (Figur 3A). Lukkede anlegg skal beskytte laksen mot rømming og mot lus slik at man ikke trenger å bekjempe lus verken med medisiner eller leppefisk. Hvis fisken likevel skulle få litt lus vil rensing av avløpsvannet redusere mengden lus og kjemikalier som havner i havet. Fotavtrykket fra lukket anlegg blir altså lite når det gjelder lus, lusemedisin og leppefisk uansett plassering av anlegget (Figur 3A). Det forventes også lavere smittepress for andre parasitter og sykdommer offshore enn i fjordene, mest fordi man tenker seg større avstand mellom anleggene – derfor vil utslipp og fotavtrykk fra bruk av antibiotika følge samme mønster som lakselusmedisin. Økt produksjon av laks i åpne anlegg vil gi økt utslipp av lakselus, rømt laks og legemidler, og det vil føre til økt fiske etter leppefisk. Dette kan føre til negative effekter på lokale bestander av ville laksefisker, krepsdyr og leppefisk (Figur 3B). Økt produksjon av laks i lukkede anlegg fører kun til en liten økning i utslippene hvis anleggene ikke fungerer som de skal (Figur 3B).

I avsnittene under er det mer informasjon om miljøutfordringer knyttet til lakselus, bekjempelse av lakselus (bruk av medisiner og leppefisk), bruk av andre medisiner og rømt laks.

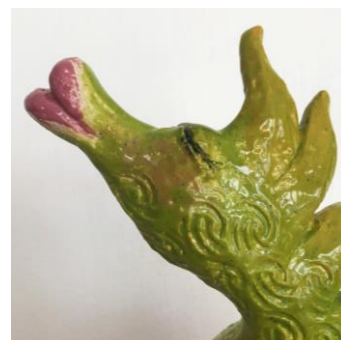
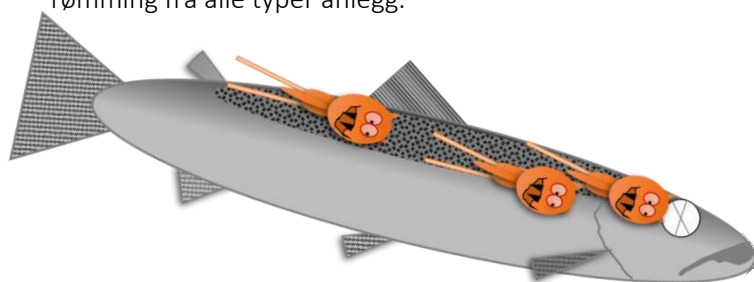
2.3.1 Lakselus plager ville laksefisker og rømt laks truer villaksen

Det er risiko for lakselusrelatert dødelighet på postsmolt, spesielt på Vestlandet fra Hordaland til Trøndelag, og for sjørørret og sjørøye er risikoen oftest høyere enn for laks (Grefsrud et al., 2018). Rømt oppdrettslaks og lakselus er de to største truslene for villaksen (Forseth et al., 2017; Glover et al., 2017; Grefsrud et al., 2018). Det ble innført et «trafikklyssystem» i 2017 som skal regulere kapasiteten i de ulike produksjonsområdene for laks langs kysten (Grefsrud et al., 2018; Kristoffersen et al., 2018). Det vil kun bli mulig å øke produksjonen av laks i områder der lakselus har ingen eller lite effekt på villfisk. Dette kan hjelpe, men det kan også bety at trafikklyset kan blinke gult en stund før produksjonen i områder med luseproblemer blir redusert og

luseproblemet reduseres. Det er også opprettet nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder for å gi et utvalg av de viktigste laksebestandene i Norge en særlig beskyttelse mot bl.a. oppdrettsvirksomhet. Ordningen kan sies å forsinke en negativ effekt av rømt oppdrettslaks på villaks, men ikke stoppe den (Hindar et al., 2018). Det er viktig å finne ut hvilket anlegg oppdrettslaks har rømt fra. Veterinærinstituttet anbefaler å spore rømt oppdrettslaks ved å kombinere DNA- og grunnstoffanalyser i fiskens skjell (Moen et al., 2017). Det er også mulig å merke fisken på ulike måter (Mortensen et al., 2016).

Lukkede anlegg vil redusere risiko for at oppdrettslaksen rømmer, og beskytte oppdrettslaksen mot lakselus (Nilsen et al., 2017). Men rømming kan skje fra alle anlegg, også landbaserte. Det rømte nylig 20 000 smolt fra et settefiskanlegg, ifølge en nyhets sak på Fiskeridirektoratets nettside 1. august 2018. For villaksen er det viktig at næringen blir enda flinkere til å unngå rømming.

Hvis man stoler på at de nye offshoreanleggene er like rømmingssikre som dagens åpne fjordanlegg så kan fotavtrykket fra rømt laks blir mindre offshore forutsatt at færre rømte laks finner fram til elevene (Figur 3A), men dette er veldig avhengig av at anleggene offshore og i fjordene er like rømmingssikre. Mengden rømt laks fra åpne anlegg vil sannsynligvis øke med økende produksjon (Figur 3B). Hvis de nye lukkede anleggene for bruk i fjorder og offshore er så rømmingssikre som produsentene lover, så kan man unngå økning i mengden rømt laks fra lukkede anlegg. Det er muligheter for teknologiske løsninger som reduserer problemet med rømming fra alle typer anlegg.



2.3.2 Kysten støvsuges for leppesnekke

Indirekte er lakselus et stort problem for leppesnekke som fanges for å leve et kort og trist liv som lusespisere. Ifølge Fiskeridirektoratet ble drøyt 27 millioner leppesnekke fisket for å spise lus av oppdrettslaksen i 2017. Sannsynligheten for at fisket etter leppesnekke på kort sikt vil føre til en nedgang i bestandene er høy, men risiko for en uønsket nedgang på lang sikt vurderes som moderat (Grefsrud et al., 2018). Det er usikkert om fisket etter leppesnekke vil ha uønskede påvirkninger på økosystemet. Risikorapporten diskuterer også andre mulige negative effekter ved bruken av leppesnekke (Grefsrud et al., 2018).

2.3.3 Medisinbruken

Hvis offshore anlegg plasseres langt fra andre oppdrettsanlegg kan risiko for at laksen får ulike parasitter (lakselus, invollsorm) eller blir smittet med bakterier eller virus være lavere enn i fjordene der det foreløpig er flere anlegg. Hvis man tar utgangspunkt i dette best-case scenariet så vil man trenge mindre legemidler av alle slag, både mot lakselus, andre parasitter og bakterier. På grunn av mindre utslipp vil derfor fotavtrykket offshore bli mindre enn i fjordene (Figur 3A). De medisin-restene som faktisk havner i miljøet offshore vil imidlertid ha det samme potensialet for å føre til negative effekter som i fjorden. Hvis man ser på et mer realistisk scenario, der tettheten av fisk og antall fisk per anlegg er høyere offshore enn i fjorden slik planene for offshore anlegg tyder på, så vil fotavtrykket bli større offshore enn i fjorden.

2.3.3.1 Antibiotika og medisin mot innvollsorm

Effektive vaksiner har vært en stor suksess i oppdrettsnæringen slik at det brukes svært lite antibiotika i dag (Grefsrud et al., 2018; Litleskare, 2018). Antibakterielle midler og medisin mot innvollsorm gis via fôret og følger for en stor del det organiske avfallet (fekalier og spillfôr) ut i miljøet, slik at utslippet vil bli mindre fra et anlegg som renser partikler fra avløpsvannet. Hvis tettheten av laks øker i åpne offshore anlegg eller i lukkede anlegg uansett plassering, så kan risiko for sykdom øke og dermed også bruken av antibiotika og andre legemidler, og det tilhørende fotavtrykket. Men det er kun best-case scenariet beskrevet over som illustreres i Figur 3.

2.3.3.2 Medisin mot lus er svært giftig for reker & co

Næringen har lagt ned mye penger og forskningsinnsats på å bli kvitt det lille parasittiske krepsdyret lakselus, men problemet er ikke løst. Lakselusa har en imponerende stayer evne og utvikler raskt toleranse for kjemikalier/medisinene som blir brukt (Aaen et al., 2015). Mengden lus blir forsøkt holdt under grensen myndighetene har satt ved bruk av ulike medisiner (kjemikalier), leppefisk som spiser lus og en rekke andre ikke-medikamentelle metoder. De siste to årene har mengden kjemikalier brukt mot lakselus gått ned (Litleskare, 2018), men det slippes fremdeles ut betydelige mengder av kjemikalier som er svært giftige for krepsdyr (se referansene under). En del av kjemikalierne er også tungt nedbrytbare og nivåene i områder med oppdrett vil kunne øke med tid hvis man fortsetter med kjemisk avlusing og medisinfôr mot lus. Her er et utvalg relevante «norske» artikler og rapporter som inneholder informasjon om miljøeffekter av medisin brukt mot lus: (Bechmann, 2017; Bechmann et al., 2017, 2018; Brokke, 2015; Escobar Lux, 2016; Grefsrud et al., 2018; Hansen et al., 2017; Langford et al., 2011, 2014, 2015; Lillicrap et al., 2015; Macken et al., 2015; Refseth et al., 2016; Samuelsen, 2016; Samuelsen et al., 2014, 2015). Les Burridge (fra Canada) og hans samarbeidspartnere har også publisert en rekke artikler og rapporter om effekter av disse kjemikalierne. Burridge sin oversiktsartikkel fra 2010 er et godt sted å begynne hvis man vil sette seg inn i denne litteraturen (Burrige et al., 2010), og her er flere relevante artikler: (Abgrall et al., 2000; Burrige, 2013; Burrige et al., 1999, 2000a,b, 2004, 2005, 2008, 2010 2014; Burrige og Van Geest, 2014; Couillard og Burrige, 2015; Ernst et al., 2014; Haya et al., 2001, 2005; McBriarty et al., 2018; Page og Burrige, 2014; Van Geest et al., 2014a,b,c; Waddy et al., 2007a,b). Det er også viktig å huske på at flere av kjemikalierne brukt mot lus også er brukt som pesticider i landbruket. F.eks. dokumenterte Marit Christiansen fra Universitetet i Oslo de negative effektene av diflubenzuron på krepsdyr allerede for 40 år siden (Christiansen og Costlow, 1980, 1982; Christiansen et al., 1978, 1984). Ferske artikler om effekter av diflubenzuron (fra medisinfôret Releeze) bekrefter det Christiansen fant for 40 år siden: diflubenzuron er svært giftig for krepsdyr og bør ikke slippes ut i havet (Bechmann et al., 2017; Bechmann et al., 2018). Nye forsøk viser at deltametrin og hydrogenperoksid, som brukes i badebehandling av laksen, kan forårsake dødelighet av reker etter få timers eksponering for lave konsentrasjoner (Bechmann *et al.*, upubliserte resultater fra Marinforsk prosjekt #267746/E40, presentert bl.a. på Hardangerfjordseminaret 4. mai 2018).

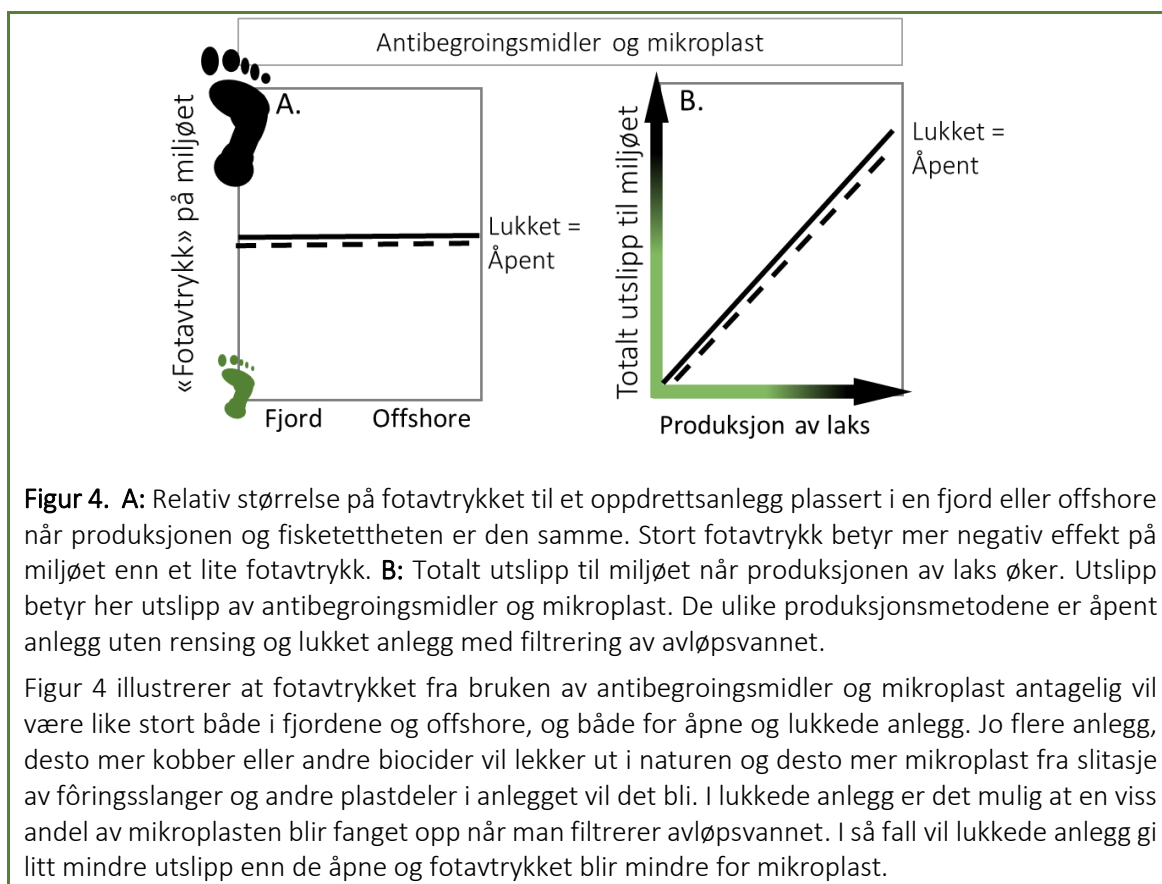
Krepsdyr finnes overalt i havet; de svømmer i vannmassene, de lever på bunnen og i sedimentet. De skifter skall til ulik tid og med varierende hyppighet avhengig av art, livsstadie og tid på året. Følsomheten til kjemikalier kan variere, men generelt vil alle kjemikalier som effektivt dreper lakselus være en risiko for alle andre krepsdyr, siden lakselus er et krepsdyr. Krepsdyr er viktige i økosystemet – de er blant annet mat for fisk og folk. Den lille raudåta og de små rekelarvene er mat for fiskelarver, og store fisk spiser store reker. Folk spiser både reker og fisk. Alt henger sammen med alt. Det er heller ingen grense under vann - strømmene fører kjemikalier fra oppdrett flere kilometer vekk på få timer (Brokke, 2015; Page et al., 2014; Refseth et al., 2016).

Havforskningsinstituttet bekreftet høsten 2017 det rekefiskere har hevdet lenge; rekene er borte fra alle de tradisjonelle fangstfeltene på Helgeland. Dette kan skyldes naturlige variasjoner, men

bruk av kjemikalier mot lakselus kan også være en årsak, se Havforskningsinstituttets toktleder Korsbrekke i en artikkel på nrk.no (Steinhold og Thonhagen, 2017). Krepssdyr er havets insekter. Fersk forskning viser at mengden insekter er drastisk redusert på 27 år (Hallmann et al., 2017), og bruken av pesticider i landbruket er en av flere mulige forklaringer på dette (Czerwinski og Sadd, 2017). Hvis problemet med lakselus kan løses med å beskytte laksen i lukkede anlegg kan man også slutte å bruke pesticider som medisin (f.eks. diflubenzuron og deltametrin). Det ville være godt nytt for alle krepssdyr som holder til i områder med lakseoppdrett.



2.4 Andre utslipp som kan skade livet i havet



2.4.1 Antibegroingsmidler

I høye nok konsentrasjoner kan kobber både føre til skade på følsomme arter og gi skadelige langtidsvirkninger i vannmiljøet. Forbruket av kobber som antibegroingsmiddel på nøter har vært jevnt økende (Grefsrud et al., 2018; Miljødirektoratet, 2016). I 2016 ble det estimert et utslipp på 1088 tonn kobber fra fiskeoppdrett (Skarbøvik et al., 2017). I Norge har utslipp av kobber til havet økt betydelig de siste ti årene, mens utslippet er redusert i andre OSPAR land (Arneberg et al., 2018; Skarbøvik et al., 2017). Det har vært uttrykt betydelig bekymring for den økende kobbermengden i fjordene i media (f.eks. (Aarre, 2018; NTB, 2016))

Forurensningsforskriften regulerer utslipp av kobber fra vask og impregnering av oppdrettsnøter (Lovdata, 2005). Miljødirektoratet har skrevet en kommentar til forskriften der det presiseres at forskriften gjelder virksomhet som rengjør, vasker eller impregnerer hele eller deler av oppdrettsnøter. Grovrengjøring av nøter i form av spyling med vann er tillatt, men nøtene kan ikke vaskes og reimpregneres med kobber på oppdrettslokaliteten (Miljødirektoratet, 2014). EUs vanndirektiv gir strengere regler for bruk av vann i Norge, men det stilles ikke de samme krav til oppdrettsnæringen som til andre sektorer/påvirkere når det gjelder overvåking av utslipp og konsekvenser av disse (Borge, 2017; Norsk Vannforening, 2016). Det bør stilles de samme krav til alle sektorer (Norsk Vannforening, 2016).

Når organismer som vokser på anlegget (groe) blir spylt av, så havner kobber og organisk materiale på havbunnen (Floerl et al., 2016). Hvis groe dumpes i miljøet kan det lettere komme ny groe på anlegget (Bloecher et al., 2015). Hvis man ikke bruker biocider som kobber på anlegget kan det være mulig å bruke påvekstorganismene til f.eks. fôringredienser eller biodrivstoff, istedenfor å dumpe dem i sjøen.

Myndighetene forventer at oppdretterne finner mer miljøvennlige metoder, slik at bruken av kobber kan reduseres (Miljødirektoratet, 2016). Det beste for miljøet ville være å vaske eller bytte nøtene før det ble for mye groe på dem istedenfor å impregnere dem med kobber eller andre forbindelser som er skadelige for miljøet. Hvis man bytter noten før den er synlig grodd vil kostnaden være den samme som ved bruk av kobberholdig impregnering (Olafsen, 2006). Kostnaden med enten økte investeringer i teknologi eller økte arbeidskostnader var omtrent den samme som impregneringskostnadene (Olafsen, 2006). Det finnes i dag roboter som kan vaske nøtene, slik at en ikke trenger å bruke kobberimpregnering (AquaRobotics.no, 2017; Blaalid, 2017; Hjalmarsen, 2017). Det kan være en god løsning for å bli kvitt kobberutslippene fra oppdrettsnæringen.

Det er mulig man kan bytte til andre løsninger som fører til mindre utslipp av miljøskadelige stoffer enn de typene kobberimpregnering som brukes i dag (se f.eks. (Ayer et al., 2016)), men antibegroingsmidler og lakselusmedisin er alle designet for å bli kvitt uønskede marine organismer. Jo mer bruk av slike stoffer, desto større risiko for at vi mister marine organismer vi ønsker å ta vare på.

2.4.2 Plast

Plastavfall (se f.eks. (Gall og Thompson, 2015)) kan sette seg fast inni eller utenpå hval, hai, fisk, og mindre dyr som tror det er mat. Mikroplast kan også skape problemer for marine organismer (Auta et al., 2017; Avio et al., 2017; Foley et al., 2018; Galloway og Lewis, 2016). En undersøkelse Naturvernforbundet har utført viser at norske oppdrettsanlegg sprer store mengder mikroplast i havet (Christensen, 2017). Et grovt estimat viser en årlig spredning av potensielt 325 tonn mikroplast fra plastrør brukt til fôring av fisken. Mikroplast kan også komme fra slitasje av nett, etc. I tillegg kommer slitasje på nøtene og utlekking fra impregnering på grunn av høytrykksspyling.

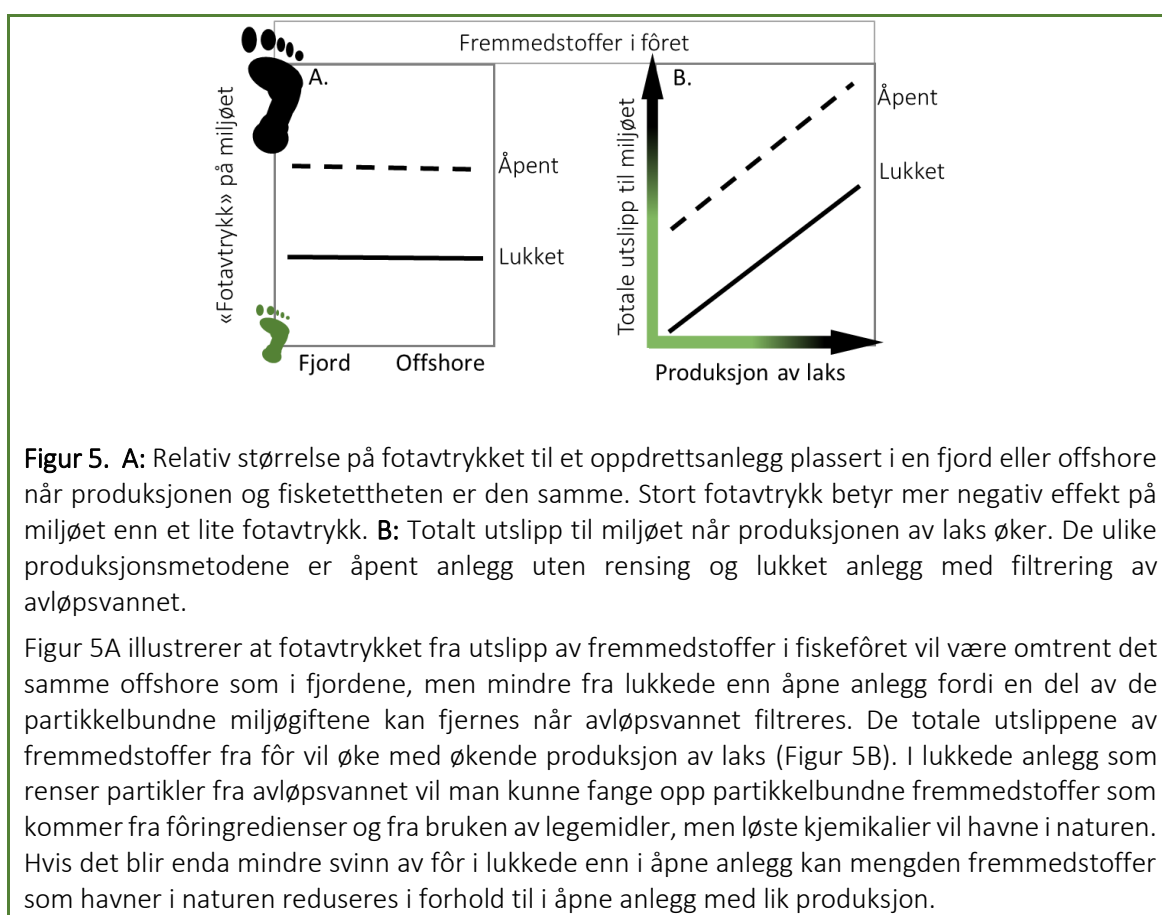
Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF) har nylig finansiert nye prosjekter for å finne ut hvordan norsk sjømatnæring kan redusere sine utslipp av plast og mikroplast, og hvilke

utfordringer og løsninger finnes knyttet til utslipp av plast og mikroplast fra næringen, i tillegg til å dokumentere forekomst av mikroplast og nanoplast i fisk.

2.4.3 Formalin

Forbruket av formalin i 2016 var på 39815 kg aktiv substans. Formalin brukes i ferskvannsfasen og til desinfeksjon av teknisk utstyr. Hvor store utslippene av formalin er til miljøet er vanskelig å stadfeste (Grefsrud et al., 2018). Formalin er svært giftig selv om det brytes raskt ned i havet. Hvis formalin slippes ut i sjøen, så bør man slutte med det. Miljødirektoratet er klar på at det er ulovlig å tømme formalinvann brukt i forbindelse med taretråling (Nilsen og Trana, 2017). Eventuelle utslipp fra oppdrettsnæringen er heller ikke å anbefale.

2.5 Fremmedstoffer i fiskefôr



Figur 5. A: Relativ størrelse på fotavtrykket til et oppdrettsanlegg plassert i en fjord eller offshore når produksjonen og fisketettheten er den samme. Stort fotavtrykk betyr mer negativ effekt på miljøet enn et lite fotavtrykk. **B:** Totalt utslipp til miljøet når produksjonen av laks øker. De ulike produksjonsmetodene er åpent anlegg uten rensing og lukket anlegg med filtrering av avløpsvannet.

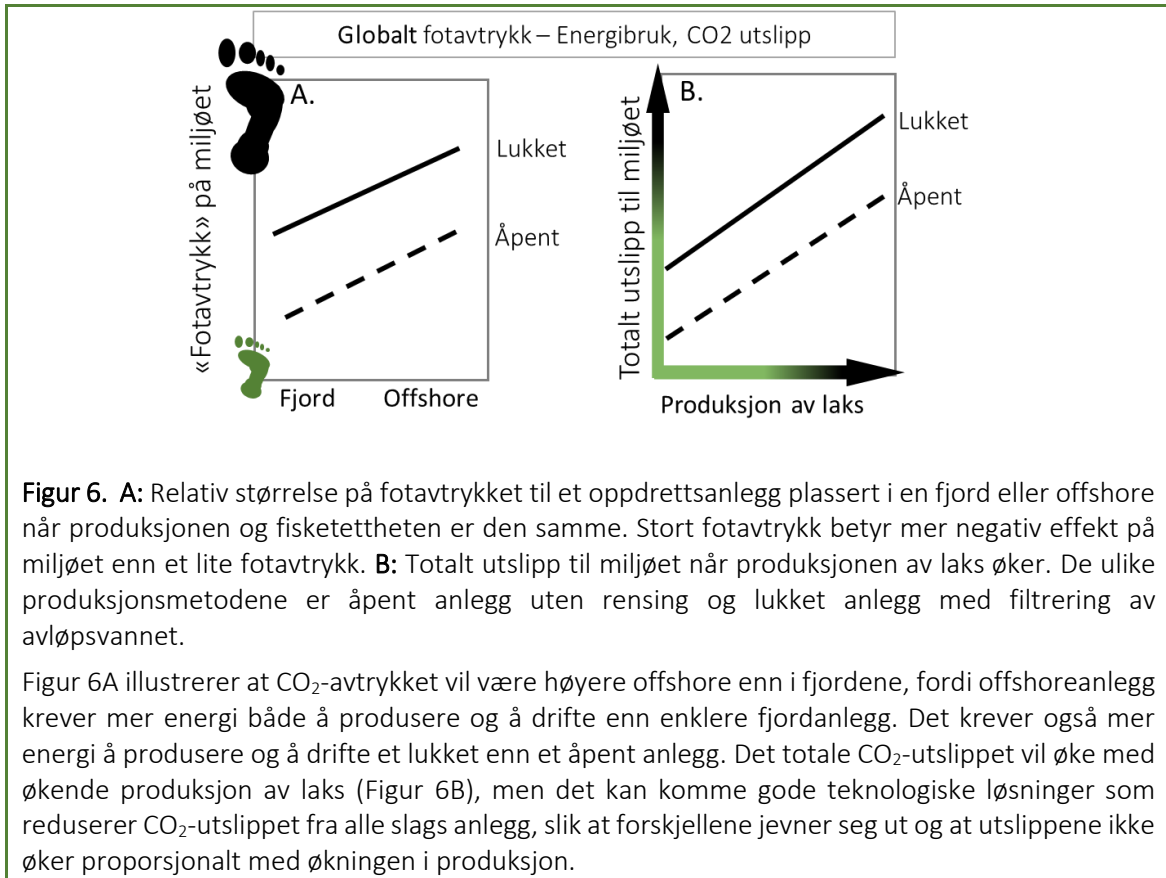
Figur 5A illustrerer at fotavtrykket fra utslipp av fremmedstoffer i fiskefôret vil være omtrent det samme offshore som i fjordene, men mindre fra lukkede enn åpne anlegg fordi en del av de partikkelbundne miljøgiftene kan fjernes når avløpsvannet filtreres. De totale utslippene av fremmedstoffer fra fôr vil øke med økende produksjon av laks (Figur 5B). I lukkede anlegg som renser partikler fra avløpsvannet vil man kunne fange opp partikkelbundne fremmedstoffer som kommer fra fôringredienser og fra bruken av legemidler, men løste kjemikalier vil havne i naturen. Hvis det blir enda mindre svinn av fôr i lukkede enn i åpne anlegg kan mengden fremmedstoffer som havner i naturen reduseres i forhold til i åpne anlegg med lik produksjon.

Det kan være små mengder av fremmedstoffer i fiskefôret (Grefsrud et al., 2018; Sele et al., 2018). Fremmedstoffer er giftige, tungt nedbrytbare stoffer som akkumuleres i næringskjeden, og de kommer hovedsakelig fra fiskeolje og fiskemel som utgjør omtrent 30% av laksefôret. Disse fremmedstoffene ender delvis opp i laksen og delvis i miljøet fra fôr-rester og fekalier. Fremmedstoffer i fiskefôr og i laks blir kontrollert hvert år (Hannisdal et al., 2018; Sele et al., 2018). Utslipp av disse miljøgiftene er et potensielt problem for marine dyr høyt opp i næringskjeden, f.eks. rovfisk og sjøpattedyr, og for folk som spiser disse.

Dessverre har vi forurenset havet så mye at selv småfisk relativt langt ned i næringskjeden kan inneholde rester av miljøgifter. For å redusere mengden fremmedstoffer i fôret, som så havner i miljøet igjen, kan man ytterligere redusere mengden fisk i fôret. Det vil også lette trykket på de aktuelle fiskebestandene, men vegetabiliske ingredienser i fôret kan også inneholde uønskede

organiske stoffer. Det ble f.eks. funnet høye nivåer av en del tjærestoffer (PAH) i vegetabilsk olje (Sele et al., 2018). Det er ikke fastsatt øvre grenseverdi for PAH i fôr eller i fôrmidler. Fôrspillet er ganske lavt i norsk oppdrett (5-11% av fôrforbruket, (Grefsrud et al., 2018)), men kanskje kan det bli enda lavere i lukkede anlegg og/eller med enda bedre kontroll på utføringen enn i dag. Dette vil også redusere utslippet av fremmedstoffer fra fôret.

2.6 Energibruk - CO₂-avtrykk

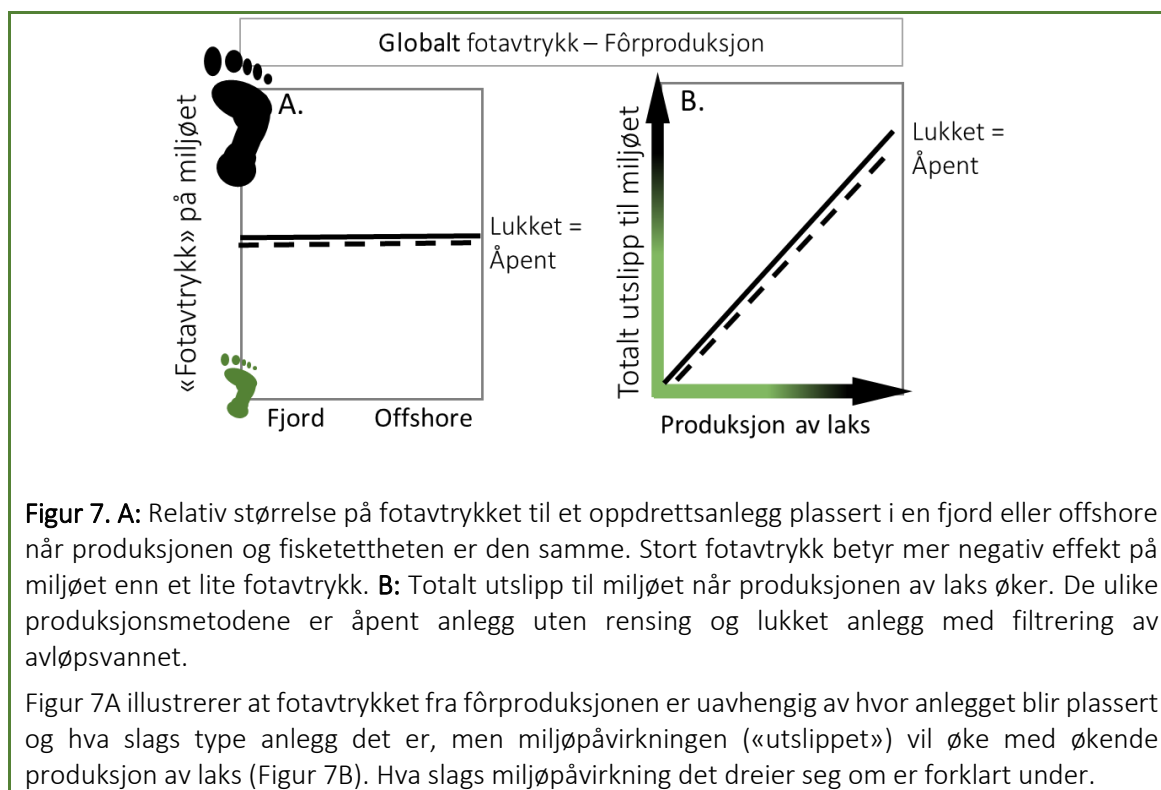


Figur 6. A: Relativ størrelse på fotavtrykket til et oppdrettsanlegg plassert i en fjord eller offshore når produksjonen og fisketettheten er den samme. Stort fotavtrykk betyr mer negativ effekt på miljøet enn et lite fotavtrykk. **B:** Totalt utslipp til miljøet når produksjonen av laks øker. De ulike produksjonsmetodene er åpent anlegg uten rensing og lukket anlegg med filtrering av avløpsvannet.

Figur 6A illustrerer at CO₂-avtrykket vil være høyere offshore enn i fjordene, fordi offshoreanlegg krever mer energi både å produsere og å drifte enn enklere fjordanlegg. Det krever også mer energi å produsere og å drifte et lukket enn et åpent anlegg. Det totale CO₂-utslippet vil øke med økende produksjon av laks (Figur 6B), men det kan komme gode teknologiske løsninger som reduserer CO₂-utslippet fra alle slags anlegg, slik at forskjellene jevner seg ut og at utslippene ikke øker proporsjonalt med økningen i produksjon.

Offshoreanlegg vil kreve mer energi å lage enn de enkle åpne anleggene vi har flest av i fjordene, men det finnes mange ulike typer av anlegg så det er vanskelig å gjette hvilke som vil gi størst CO₂ avtrykk. Det er høyere CO₂ avtrykk fra lukket enn fra åpent anlegg (Ayer og Tyedmers, 2009; Liu et al., 2016). Offshoreanlegg er mer energikrevende å drifte enn fjordanlegg selv om det kan hjelpe å ta i bruk de nyeste og beste teknologiske løsningene. CO₂ avtrykket i forbindelse med drift av anlegget kan reduseres ved at servicebåtene går på strøm eller biodrivstoff (laget av slam eller organismer dyrket ved siden av laksen i IMTA). Vindkraft eller bølgekraft kan erstatte noe av dieselen som trengs for å drifte anlegget (Stuiver et al., 2016; Syse, 2016) og på denne måten få ned CO₂ utslippet. Dette kan være spesielt relevant for offshoreanlegg. Det kan kreve noe mer energi å transportere laksen til konsumentene fra et offshoreanlegg enn fra et anlegg nær kysten. I tillegg kommer energibruk i forbindelse med produksjon av fôr og smolt som er uavhengig av hvor anlegget er plassert.

2.7 Mer laks krever mer fôr: Er det bærekraftig?



Figur 7. A: Relativ størrelse på fotavtrykket til et oppdrettsanlegg plassert i en fjord eller offshore når produksjonen og fisketettheten er den samme. Stort fotavtrykk betyr mer negativ effekt på miljøet enn et lite fotavtrykk. **B:** Totalt utslipp til miljøet når produksjonen av laks øker. De ulike produksjonsmetodene er åpent anlegg uten rensing og lukket anlegg med filtrering av avløpsvannet.

Figur 7A illustrerer at fotavtrykket fra fôrproduksjonen er uavhengig av hvor anlegget blir plassert og hva slags type anlegg det er, men miljøpåvirkningen («utslippet») vil øke med økende produksjon av laks (Figur 7B). Hva slags miljøpåvirkning det dreier seg om er forklart under.

En av de aller største utfordringene i forbindelse med å øke produksjonen av laks vil være knyttet til å fremskaffe de nødvendige fôrråvarene (Olafsen et al., 2012). Både Sjømat Norge og Norsk Industri har ambisjoner om å redusere sitt fotavtrykk når det gjelder fôrproduksjon (Norsk Industri, 2017; Sjømat Norge, 2017), og Sjømat Norge har følgende mål: «Havbruksnæringen skal innen 2030 redusere sine miljømessige fotavtrykk. Dette vil realiseres blant annet ved at en vesentlig andel av fiskefôret skal bestå av animalske og vegetabiliske biprodukter, insektprodukter og/eller produkter fra dyrking av mikroorganismer. Valg av råvarer til fôr skal være bærekraftig i forhold til sikring av artsmangfoldet, og til bevaring av regnskog og andre biotoper» (Sjømat Norge, 2017). Det vil bli svært utfordrende å redusere avtrykket på miljøet og samtidig doble produksjonen. Selv om man velger de aller minst miljøskadelige ingrediensene til fôrproduksjonen så trengs det mye mer fôr når man vil produsere mye mer laks. Den siste FAO rapporten om fiskeri og oppdrett konkluderer at en tredjedel av alle verdens fiskebestander er overfisket og mesteparten av de resterende populasjonene tåler ikke økt fiske (FAO, 2018), dermed vil det være vanskelig å skaffe nok fisk til fôr hvis produksjonen av laks skal øke. Halpern *et al.* og Worm *et al.* har skrevet relevante artikler om menneskets påvirkning på marine økosystemer globalt (Halpern et al., 2008; Worm et al., 2006).

Kortreiste ingredienser fra dyrking av tare, mikroalger eller filtrerende organismer kan være en god vei å gå for å redusere fotavtrykket fra fôrproduksjonen. Hvis de skal dyrkes ved siden av laksen, må man være forsiktig med å slippe ut uønskede kjemikalier som kan tas opp i organismene.

Dyrking av soya i Brasil og fiske av anchoveta i Peru gir ulike typer av lokale og globale fotavtrykk som til sammen kanskje blir større enn alle de lokale fotavtrykkene i våre fjorder og/eller offshore. Økt produksjon av laks krever mer fôr og dermed vil fotavtrykket bli større. Det er viktig å ha et bevisst forhold til hvordan man vektlegger lokale og globale fotavtrykk og hvor viktige lokale avtrykk i Norge er sammenlignet med lokale avtrykk i f.eks. Sør-Amerika. Selv om alt dette er veldig interessant så vil fotavtrykket fra fôrproduksjonen blir det samme uavhengig av plasseringen av anlegget – i fjorden, offshore eller på land spiller ingen rolle, bortsett fra at fôr-

svinnet kanskje kan bli enda mindre i lukkede enn i åpne anlegg. Fotavtrykket fra fôrproduksjonen er en viktig faktor når en skal vurdere om økt produksjon av laks kan kalles bærekraftig. Hvis en veldig gjerne vil dyrke laks kan man sammenligne med fotavtrykk for annen matproduksjon og vurdere hva som gir minst avtrykk. Samtidig kan man gjøre en innsats for å redusere matsvinn i alle ledd fra fangst/produksjon til forbruker, og oppmuntre til mer spising av grønnsaker istedenfor kjøtt og fisk.

Hvis du vil lese mer om dette tema er følgende artikler relevante: (Boissy et al., 2011; Cashion et al., 2016; Cashion et al., 2017; Davidson et al., 2016a; Ellingsen og Aanonsen, 2006; Ford et al., 2012; Newton og Little, 2018; Silva et al., 2018; Torrissen et al., 2011).

2.8 Kombinerte effekter

Den samlede belastningen fra ulike menneskelige aktiviteter er sannsynligvis større i fjordene enn offshore. Langs kysten er det også viktige og sårbare naturtyper som tareskog og sjøgressenger som kan bli nedslammet hvis oppdrettsanlegg plasseres for nær (Husa et al., 2016). Det kan være mindre vanskelig å plassere oppdrettsanlegg langt nok unna de spesielt følsomme habitatene offshore enn i fjordene. Ulike typer utslipp fra lakseoppdrett kommer i tillegg til utslipp fra annen type industri (f.eks. olje og gass), påvirkning fra fiske (f.eks. bunntåling), og økte CO₂-utslipp som fører til global oppvarming og havforsuring. Økosystemene gjør sitt beste for å tåle summen av alt dette, men det er usikkert hvordan det vil gå. Når man planlegger bruken og forvaltningen av de marine økosystemene er det viktig å huske på at det er mindre vanskelig å begrense ulike typer lokale utslipp enn å stoppe klimaendringer (Brown et al., 2014; Ghedini et al., 2013).

Sammendraget står foran i rapporten

Et lite PS angående kunnskapsbasert forvaltning og slagordet «mer forskning trengs». Grundig og god overvåking i felt og forskning på effekter av ulike typer utslipp fra oppdrettsnæringen er viktig for å forstå hvor store områder som påvirkes og hvilke konsekvenser produksjon av laks har på livet i havet. Men uansett hvor mye overvåking og forskning man bedriver så vil ikke forskningen beskytte livet i havet. Det som betyr noe er å redusere utslippene, habitatødeleggelsen og forbruket av begrensede ressurser. For å få til dette trengs blant annet tydelige retningslinjer fra myndighetene når det gjelder å ta i bruk de teknologiske løsningene som vil føre til minst mulig belastning på naturen (Sandvik, 2016), og at man ellers holder fast ved at **«miljøpåvirkning må være den viktigste faktoren å ta hensyn til når vekst skal vurderes»** (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015), ikke kortsiktig økonomisk gevinst. Det har dessverre også vist seg at oppdrettsnæringen ikke alltid klapper i hendene av begeistring over forskningsresultater som indikerer at de burde anstrenge seg mer for å forhindre ulike negative effekter. Dette er utdypet i artikkelserien *Mørke motkrefter*, skrevet av Simen Sætre i Morgenbladet og Kjetil Østli i nettmagasinet Harvest. Journalistene fikk i juni 2018 Vitenskapsakademiets pris for «fremragende og vederheftig journalistikk om forskning» for denne serien. Det er viktig at resultatene fra forskning og overvåking tas hensyn til slik at næringsvirksomhet drives på en bærekraftig måte for naturen.

LITTERATURLISTE

- Aaen, S.M., Helgesen, K.O., Bakke, M.J., Kaur, K., Horsberg, T.E., 2015. Drug resistance in sea lice: a threat to salmonid aquaculture. *Trends in Parasitology* 31, 72-81.
- Aarre, E., 2018. Må forklare seg om kobberforurensning fra oppdrett, Sysla.no. Publisert 07.05.2018.
- Abgrall, P., Rangeley, R.W., Burrige, L.E., Lawton, P., 2000. Sublethal effects of azamethiphos on shelter use by juvenile lobsters (*Homarus americanus*). *Aquaculture* 181, 1-10.
- Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D. & Brummett, R. 2017. Aquaculture zoning, site selection og area management under the ecosystem approach to aquaculture. . FAO og World Bank Group, Washington DC. , Rome, p. 395 pp.
- AquaRobotics.no, 2017. En introduksjon av Halo net maintenance system.
- Árnason, J., Björnsdóttir, R., Larsen, B.K., Björnsson, B.T., Sundell, K., Hansen, A.-C., Holen, E., Espe, M., Lindahl, O., Kalsdóttir, S., 2015. Local fish feed ingredients for competitive og sustainable production of high-quality aquaculture feed, NORDIC INNOVATION PUBLICATION 2015:02.
- Arneberg, P., Jelmert, A., (red), 2017. Status for miljøet i Barentshavet og ytre påvirkning – rapport fra Overvåkingsgruppen 2017. *Fisken og havet*, , 86 pp.
- Arneberg, P., van der Meeren, G.I., (red.), 2016. Status for miljøet i Norskehavet – rapport fra Overvåkingsgruppen 2016. *Fisken og havet*.
- Arneberg, P., van der Meeren, G.I., Frantzen, S., (red.), 2018. Status for miljøet og ytre påvirkning i Nordsjøen og Skagerrak – rapport fra Overvåkingsgruppen 2018. . *Fisken og Havet*, 85 pp.
- Auta, H.S., Emenike, C.U., Fauziah, S.H., 2017. Distribution og importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, og potential solutions. *Environment International* 102, 165-176.
- Avio, C.G., Gorbi, S., Regoli, F., 2017. Plastics og microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research* 128, 2-11.
- Ayer, N., Martin, S., Dwyer, R.L., Gace, L., Laurin, L., 2016. Environmental performance of copper-alloy Net-pens: Life cycle assessment of Atlantic salmon grow-out in copper-alloy og nylon net-pens. *Aquaculture* 453, 93-103.
- Ayer, N.W., Tyedmers, P.H., 2009. Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *Journal of Cleaner Production* 17, 362-373.
- Bakke, T., Klungsoyr, J., Sanni, S., 2013. Environmental impacts of produced water og drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine Environmental Research* 92, 154-169.
- Bannister, R.J., Johnsen, I.A., Hansen, P.K., Kutti, T., Asplin, L., 2016. Near- og far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. *Ices Journal of Marine Science* 73, 2408-2419.
- Bannister, R.J., Valdemarsen, T., Hansen, P.K., Holmer, M., Ervik, A., 2014. Changes in benthic sediment conditions under an Atlantic salmon farm at a deep, well-flushed coastal site. *Aquaculture Environment Interactions* 5, 29-47.
- Bechmann, R.K., 2017. Påvirkes krepsdyr som lever nær oppdrettsanlegg av kjemikalier brukt mot lakselus? Oppsummering av workshop, 21. september 2017. IRIS International Research Institute of Stavanger AS, p. 18 pp.
- Bechmann, R.K., Lyng, E., Berry, M., Kringstad, A., Westerlund, S., 2017. Exposing Northern shrimp (*Pandalus borealis*) to fish feed containing the antiparasitic drug diflubenzuron caused high mortality during molting. *Journal of Toxicology og Environmental Health-Part a-Current Issues* 80, 941-953.
- Bechmann, R.K., Lyng, E., Westerlund, S., Bamber, S., Berry, M., Arnberg, M., Kringstad, A., Calosi, P., Seear, P.J., 2018. Early life stages of Northern shrimp (*Pandalus borealis*) are sensitive to fish feed containing the anti-parasitic drug diflubenzuron. *Aquatic Toxicology* 198, 82-91.

- Berge, A., 2017. Dette er verdens 20 største lakseoppdrettere. <https://ilaks.no/dette-er-verdens-20-storste-lakseoppdrettere/>, ilaks.no.
- Bergheim, A., 2015. Miljøbudsjett ved kombinert oppdrett av laks og blåskjell. IRIS Stavanger, p. 9.
- Bergheim, A., Drengstig, A., Ulgenes, Y., Fivelstad, S., 2009. Production of Atlantic salmon smolts in Europe-Current characteristics og future trends. *Aquacultural Engineering* 41, 46-52.
- Berthelsen, K., Hosteland, L.T.S., Jensen, P.M., 2017. Se hva som peker seg ut som fremtidens havbruksteknologi, kyst-no, Publisert 21.11.2017 11:00 (Oppdatert 18.02.2018 01:01).
- Bjærke, M.R., 2017. Inn med naturens egenverdi. Om verdigrunnlaget for norsk miljøpolitikk på 2000-tallet. Masteroppgave i europeisk kultur, studieretning idéhistorie., Institutt for filosofi, idé- og kunsthistorie og klassiske språk. Universitetet i Oslo, Oslo.
- Bjærke, M.R., 2018. Hvor ble det av naturens egenverdi? (Essay/Miljø), Morgenbladet.
- Bjorgesæter, A., 2008. Environmental effects of oil og gas exploration on the benthic fauna of the Norwegian Continental Shelf. An analysis using the OLF-database., Department of Biology. University of Oslo, p. 50.
- Blaalid, G.-E., 2017. Ny teknologi - Kan kutte notvask-kostnadene med 70 %, kyst.no, <https://www.kyst.no/article/ny-teknologi-kan-kutte-notvask-kostnadene-med-70/>.
- Blanchard, A., Hauge, K.H., Andersen, G., Fossa, J.H., Grosvik, B.E., Handegard, N.O., Kaiser, M., Meier, S., Olsen, E., Vikebo, F., 2014. Harmful routines? Uncertainty in science og conflicting views on routine petroleum operations in Norway. *Marine Policy* 43, 313-320.
- Bloecher, N., Floerl, O., Sunde, L.M., 2015. Amplified recruitment pressure of biofouling organisms in commercial salmon farms: potential causes og implications for farm management. *Biofouling* 31, 163-172.
- Boissy, J., Aubin, J., Drissi, A., van der Werf, H.M.G., Bell, G.J., Kaushik, S.J., 2011. Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed og farm scales. *Aquaculture* 321, 61-70.
- Borge, L., 2017. EUs strenge vannkrav til Norge (med ett unntak), Aftenposten Innsikt, 4/4-2017, <https://www.aftenposteninnsikt.no/klimamilj/eus-strenge-vannkrav-til-norge-med-ett-unntak>.
- Braaten, B.R., 2007. Cage aquaculture og environmental impacts, in: Bergheim, A. (Ed.), *Aquacultural Engineering og Environment*, Kerala, India, pp. 49-91.
- Brager, L.M., Cranford, P.J., Grant, J., Robinson, S.M.C., 2015. Spatial distribution of suspended particulate wastes at open-water Atlantic salmon og sablefish aquaculture farms in Canada. *Aquaculture Environment Interactions* 6, 135-149.
- Brager, L.M., Cranford, P.J., Jansen, H., Strand, O., 2016. Temporal variations in suspended particulate waste concentrations at open-water fish farms in Canada og Norway. *Aquaculture Environment Interactions* 8, 437-452.
- Brokke, K.E., 2015. Mortality caused by de-licing agents on the non-target organisms chameleon shrimp (*Praunus flexuosus*) og grass prawns (*Palaemon elegans*). MSc thesis., Department of Biology. University of Bergen, p. 105.
- Brown, C.J., Saunders, M.I., Possingham, H.P., Richardson, A.J., 2014. Interactions between global og local stressors of ecosystems determine management effectiveness in cumulative impact mapping. *Diversity og Distributions* 20, 538-546.
- Burrige, L., 2013. A review of potential environmental risks associated with the use of pesticides to treat Atlantic salmon against infestations of sea lice in southwest New Brunswick, Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/050, 25.
- Burrige, L., Weis, J.S., Cabello, F., Pizarro, J., Bostick, K., 2010. Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices og possible environmental effects. *Aquaculture* 306, 7-23.
- Burrige, L.E., Hamilton, N., Waddy, S.L., Haya, K., Mercer, S.M., Greenhalgh, R., Tauber, R., Radecki, S.V., Crouch, L.S., Wislocki, P.G., Endris, R.G., 2004. Acute toxicity of emamectin benzoate (SLICE (TM)) in fish feed to American lobster, *Homarus americanus*. *Aquaculture Research* 35, 713-722.
- Burrige, L.E., Haya, K., Page, F.H., Waddy, S.L., Zitko, V., Wade, J., 2000a. The lethality of the cypermethrin formulation Excis® to larval og post-larval stages of the American lobster (*Homarus americanus*). *Aquaculture* 182, 37-47.

- Burrige, L.E., Haya, K., Waddy, S.L., 2005. Seasonal lethality of the organophosphate pesticide, azamethiphos to female American lobster (*Homarus americanus*). *Ecotoxicology og Environmental Safety* 60, 277-281.
- Burrige, L.E., Haya, K., Waddy, S.L., 2008. The effect of repeated exposure to azamethiphos on survival og spawning in the American lobster (*Homarus americanus*). *Ecotoxicology og Environmental Safety* 69, 411-415.
- Burrige, L.E., Haya, K., Waddy, S.L., Wade, J., 2000b. The lethality of anti-sea lice formulations Salmosan® (Azamethiphos) og Excis® (Cypermethrin) to stage IV og adult lobsters (*Homarus americanus*) during repeated short-term exposures. *Aquaculture* 182, 27-35.
- Burrige, L.E., Haya, K., Zitko, V., Waddy, S., 1999. The Lethality of Salmosan (Azamethiphos) to American Lobster (*Homarus americanus*) Larvae, Postlarvae, og Adults. *Ecotoxicology og Environmental Safety* 43, 165-169.
- Burrige, L.E., Lyons, M.C., Wong, D.K.H., MacKeigan, K., VanGeest, J.L., 2014. The acute lethality of three anti-sea lice formulations: AlphaMax®, Salmosan®, og Interlox®Paramove™50 to lobster og shrimp. *Aquaculture* 420–421, 180-186.
- Burrige, L.E., Van Geest, J.L., 2014. A review of potential environmental risks associated with the use of pesticides to treat Atlantic salmon against infestations of sea lice in Canada in: Canada, F.a.O. (Ed.), *Canadian Science Advisory Secretariat research document*, pp. 1-42.
- Cashion, T., Hornborg, S., Ziegler, F., Hognes, E.S., Tyedmers, P., 2016. Review og advancement of the marine biotic resource use metric in seafood LCAs: a case study of Norwegian salmon feed. *International Journal of Life Cycle Assessment* 21, 1106-1120.
- Cashion, T., Le Manach, F., Zeller, D., Pauly, D., 2017. Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish og Fisheries* 18, 837-844.
- Chopin, T., 2013. *Aquaculture, Integrated Multi-Trophic (IMTA)*, Encyclopedia of sustainability science og technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Chopin, T., 2015. Marine Aquaculture in Canada: Well-Established Monocultures of Finfish og Shellfish og an Emerging Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) Approach Including Seaweeds, Other Invertebrates, og Microbial Communities. *Fisheries* 40, 28-31.
- Chopin, T., Cooper, J.A., Reid, G., Cross, S., Moore, C., 2012. Open-water integrated multi-trophic aquaculture: environmental biomitigation og economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 4, 209-220.
- Chopin, T., MacDonald, B., Robinson, S., Cross, S., Pearce, C., Knowler, D., Noce, A., Reid, G., Cooper, A., Speare, D., Burrige, L., Crawford, C., Sawhney, M., Ang, K.P., Backman, C., Hutchinson, M., 2013. The Canadian Integrated Multi-Trophic Aquaculture Network (CIMTAN)-A Network for a New Era of Ecosystem Responsible Aquaculture. *Fisheries* 38, 297-308.
- Christensen, T.B., 2017. Oppdrettsanlegg sprer mikroplast fra plastrør til fôr. Flere hundre tonn mikroplast rett ut i havet. <https://naturvernforbundet.no/marinforsopling/flere-hundre-tonn-mikroplast-rett-ut-i-havet-article37577-3788.html>, naturvernforbundet.no.
- Christiansen, M., Costlow, J., 1980. Persistence of the insect growth regulator Dimilin® in brackish water: a laboratory evaluation using larvae of an estuarine crab as indicator. *Helgolander Meeresuntersuchungen* 33, 327-332.
- Christiansen, M., Costlow, J., 1982. Ultrastructural study of the exoskeleton of the estuarine crab *Rhithropanopeus harrisi* : Effect of the insect growth regulator Dimilin® (diflubenzuron) on the formation of the larval cuticle. *International Journal on Life in Oceans og Coastal Waters* 66, 217-226.
- Christiansen, M., Costlow, J., Monroe, R., 1978. Effects of the insect growth regulator Dimilin® (TH 6040) on larval development of two estuarine crabs. *Marine Biology* 50, 29-36.
- Christiansen, M., Gosling, E., Williams, M., 1984. Effect of the insect growth regulator diflubenzuron (Dimilin®) on the uptake of glucose og N-acetylglucosamine into the cuticle of crab larvae. *International Journal on Life in Oceans og Coastal Waters* 83, 225-230.
- Cordell, D., White, S., 2011. Peak Phosphorus: Clarifying the Key Issues of a Vigorous Debate about Long-Term Phosphorus Security. *Sustainability* 3, 2027-2049.

- Couillard, C.M., Burrige, L.E., 2015. Sublethal exposure to azamethiphos causes neurotoxicity, altered energy allocation og high mortality during simulated live transport in American lobster. *Ecotoxicology og Environmental Safety* 115, 291-299.
- Cranford, P.J., Reid, G.K., Robinson, S.M.C., 2013. Open water integrated multi-trophic aquaculture: constraints on the effectiveness of mussels as an organic extractive component. *Aquaculture Environment Interactions* 4, 163-173.
- Cripps, S.J., Bergheim, A., 2000. Solids management og removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering* 22, 33-56.
- Czerwinski, M.A., Sadd, B., 2017. Detrimental interactions of neonicotinoid pesticide exposure og bumblebee immunity. *Journal of Experimental Zoology Part a-Ecological og Integrative Physiology* 327, 273-283.
- Davidson, J., Barrows, F.T., Kenney, P.B., Good, C., Schroyer, K., Summerfelt, S.T., 2016a. Effects of feeding a fishmeal-free versus a fishmeal-based diet on post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar* performance, water quality, og waste production in recirculation aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 74, 38-51.
- Davidson, J., May, T., Good, C., Waldrop, T., Kenney, B., Terjesen, B.F., Summerfelt, S., 2016b. Production of market-size North American strain Atlantic salmon *Salmo salar* in a land-based recirculation aquaculture system using freshwater. *Aquacultural Engineering* 74, 1-16.
- Denney, C., Fields, R., Gleason, M., Starr, R., 2017. Development of New Methods for Quantifying Fish Density Using Underwater Stereo-video Tools. *Jove-Journal of Visualized Experiments*.
- Departementene, 2016. Norges oppfølging av FNs bærekraftsmål. FNs bærekraftsmål er verdens felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030.
- Earle, S.A., 2009. The world is blue. How our fate og the oceans's are one. . National Geographic Washington D.C.
- Ecotone, 2017. Hyperspektralt maskinsyn skal kartlegge bunnforholdene under SalMars havmerd (Ocean Farm 1) <https://ilaks.no/hyperspektralt-maskinsyn-skal-kartlegge-bunnforholdene-under-salmars-havmerd/>, ilaks.no.
- Eide, E., 2017. Marint RAS anlegg. For produksjon av laks med gjenbruk av ressursar., Fiskeri og Havbruk. NTNU, p. 42.
- Ellingsen, H., Aanonsen, A., 2006. Environmental impacts of wild caught cod og farmed salmon - A comparison with chicken. *International Journal of Life Cycle Assessment* 11, 60-65.
- Ernst, W., Doe, K., Cook, A., Burrige, L., Lalonde, B., Jackman, P., Aubé, J.G., Page, F., 2014. Dispersion og toxicity to non-target crustaceans of azamethiphos og deltamethrin after sea lice treatments on farmed salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 424-425, 104-112.
- Escobar Lux, H.R., 2016. The effects of an anti-sea lice chemotherapeutant, hydrogen peroxide, on mortality, escape response og oxygen consumption of *Calanus* spp. Master thesis. Universite Pierre et Marie Curie og the Institute of Marine Research, Norway., p. . .
- Espmark, Å.M., 2018. Annual Report 2017 CtrlAQUA - Centre for ClosedContainment Aquaculture. SFI Centre for Research-based Innovation., p. 55 pp.
- EU, 2017. Our oceans, seas og coasts. Legislation: the Marine Directive. http://ec.europa.eu/environment/marine/eu-coast-and-marine-policy/marine-strategy-framework-directive/index_en.htm.
- FAO, 2018. The State of World Fisheries og Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals., Rome.
- Fernand, F., Israel, A., Skjermo, J., Wichard, T., Timmermans, K.R., Golberg, A., 2017. Offshore macroalgae biomass for bioenergy production: Environmental aspects, technological achievements og challenges. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 75, 35-45.
- Fernandez-Jover, D., Martinez-Rubio, L., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J.T., Jimenez, J.A.L., Lopez, F.J.M., Bjorn, P.A., Uglem, I., Dempster, T., 2011. Waste feed from coastal fish farms: A trophic subsidy with compositional side-effects for wild gadoids. *Estuarine Coastal og Shelf Science* 91, 559-568.

- Ferrari, R., Marzinelli, E.M., Ayroza, C.R., Jordan, A., Figueira, W.F., Byrne, M., Malcolm, H.A., Williams, S.B., Steinberg, P.D., 2018. Large-scale assessment of benthic communities across multiple marine protected areas using an autonomous underwater vehicle. *Plos One* 13.
- Ferreira, J.G., Saurel, C., Silva, J., Nunes, J.P., Vazquez, F., 2014. Modelling of interactions between inshore og offshore aquaculture. *Aquaculture* 426, 154-164.
- Filgueira, R., Guyonnet, T., Reid, G.K., Grant, J., Cranford, P.J., 2017. Vertical particle fluxes dominate integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) sites: implications for shellfish-fish synergy. *Aquaculture Environment Interactions* 9, 127-143.
- Floerl, O., Sunde, L.M., Bloecher, N., 2016. Potential environmental risks associated with biofouling management in salmon aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions* 8, 407-417.
- Foley, C.J., Feiner, Z.S., Malinich, T.D., Hook, T.O., 2018. A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish og aquatic invertebrates. *Science of the Total Environment* 631-632, 550-559.
- Ford, J.S., Pelletier, N.L., Ziegler, F., Scholz, A.J., Tyedmers, P.H., Sonesson, U., Kruse, S.A., Silverman, H., 2012. Proposed Local Ecological Impact Categories og Indicators for Life Cycle Assessment of Aquaculture A Salmon Aquaculture Case Study. *Journal of Industrial Ecology* 16, 254-265.
- Forseth, T., Barlaup, B.T., Finstad, B., Fiske, P., Gjoaester, H., Falkegard, M., Hindar, A., Mo, T.A., Rikardsen, A.H., Thorstad, E.B., Vollestad, L.A., Wennevik, V., 2017. The major threats to Atlantic salmon in Norway. *Ices Journal of Marine Science* 74, 1496-1513.
- Framstad, E.r., 2015. Naturindeks for Norge 2015. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold. Miljødirektoratet, p. 132 pp.
- Gall, S.C., Thompson, R.C., 2015. The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin* 92, 170-179.
- Galloway, T.S., Lewis, C.N., 2016. Marine microplastics spell big problems for future generations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113, 2331-2333.
- Garcia-Sanz, T., Ruiz, J.M., Perez, M., Ruiz, M., 2011. Assessment of dissolved nutrients dispersal derived from offshore fish-farm using nitrogen stable isotope ratios ($\delta N-15$) in macroalgal bioassays. *Estuarine Coastal og Shelf Science* 91, 361-370.
- Gentry, R.R., Lester, S.E., Kappel, C.V., White, C., Bell, T.W., Stevens, J., Gaines, S.D., 2017. Offshore aquaculture: Spatial planning principles for sustainable development. *Ecology og Evolution* 7, 733-743.
- Ghedini, G., Russell, B.D., Connell, S.D., 2013. Managing Local Coastal Stressors to Reduce the Ecological Effects of Ocean Acidification og Warming. *Water* 5, 1653-1661.
- Glover, K.A., Solberg, M.F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M.W., Hansen, M.M., Araki, H., Skaala, O., Svasand, T., 2017. Half a century of genetic interaction between farmed og wild Atlantic salmon: Status of knowledge og unanswered questions. *Fish og Fisheries* 18, 890-927.
- Granada, L., Sousa, N., Lopes, S., Lemos, M.F.L., 2016. Is integrated multitrophic aquaculture the solution to the sectors' major challenges? - a review. *Reviews in Aquaculture* 8, 283-300.
- Grefsrud, E.S., Glover, K., Grøsvik, B.E., Husa, V., Karlsen, Ø., Kristiansen, T., Kvamme, B.O., Mortensen, S., Samuelsen, O.B., Stien, L.H., Svåsand, T., (red.), 2018. Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2018. *Fisken og havet, særnr. 1-2018*. .
- Haaland, S.A., 2017. Semi-closed containment systems in Atlantic salmon production. Comparative analysis of production strategies., Department of Marine Technology. Norwegian University of Science og Technology, Trondheim.
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Muller, A., Sumser, H., Horren, T., Goulson, D., de Kroon, H., 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *Plos One* 12.
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R., 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science* 319, 948-952.

- Hannisdal, R., Nøstbakken, O.J., Lunestad, B.T., Hove, H.T., Frøyland, L., Madsen, L., 2018. Monitoring program for pharmaceuticals, illegal substances, og contaminants in farmed fish – ANNUAL REPORT FOR 2017, Rapport fra Havforskningen, p. 30 pp.
- Hansen, B.H., Hallmann, A., Altin, D., Jenssen, B.M., Ciesielski, T.M., 2017. Acute hydrogen peroxide (H₂O₂) exposure does not cause oxidative stress in late-copepodite stage of *Calanus finmarchicus*. *Journal of Toxicology og Environmental Health, Part A, Current Issues* 80, 820-829
- Haya, K., BurrIDGE, L.E., Chang, B.D., 2001. Environmental impact of chemical wastes produced by the salmon aquaculture industry. *Ices Journal of Marine Science* 58, 492-496.
- Haya, K., BurrIDGE, L.E., Davies, I.M., Ervik, A., 2005. A Review og Assessment of Environmental Risk of Chemicals Used for the Treatment of Sea Lice Infestations of Cultured Salmon. , in: B.T., H. (Ed.), *Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture. Handbook of Environmental Chemistry.* Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hindar, K., Diserud, O.H., Fiske, P., Karlsson, S., Bolstad, G.H., Foldvik, A., Wennevik, V., Bremset, G., Rosten, C., 2018. Evaluering av nasjonale laksevasdrag og nasjonale laksefjorder: Rømt oppdrettslaks, genetisk innkrysning og bestandsstatus. NINA Norsk institutt for naturforskning, Trondheim, p. 60 pp.
- Hjalmarson, L., 2017. Roboter vil ta over notvasken, *Aftenbladet.no*, 24.jul.2017 ed, <https://www.aftenbladet.no/lokalt/i/jg7gg/Roboter-vil-ta-over-notvasken>.
- Holmer, M., 2010. Environmental issues of fish farming in offshore waters: perspectives, concerns og research needs. *Aquaculture Environment Interactions* 1, 57-70.
- Husa, V., Kutti, T., Grefsrud, A.-L. Agnalt, E.S., Karlsen, Ø., Bannister, R., Samuelsen, O., Grøsvik, B.E., 2016. Effekter av utslipp fra akvakultur på spesielle marine naturtyper, rødlista habitat og arter. Kunnskapsstatus. . Institute of Marine Research.
- Huse, G., Skern-Mauritzen, M., Bogstad, B., Sandberg, P., Ottemo, T., Veim, A.K., Sjørdahl, E., Bertelsen, B., 2018. Muligheter og prioriteringer for flerbestandsforvaltning i norske fiskerier. *Fisken og Havet* 2018, 50 pp.
- Kapetsky, J.M., Aguilar-Manjarrez, J., Jenness, J., 2013. A global assessment of potential for offshore mariculture development from a spatial perspective., FAO Fisheries og Aquaculture Technical Paper No. 549. FAO, Rome, p. 181 pp.
- Karlsson-Drangsholt, A., van Nes, S., 2017. Miljøkonsekvensanalyse: Integrert havbruk i Norge. Bellona. Klima- og Miljødepartementet, 2015a. Meld. St. 14 (2015–2016). Melding til Stortinget. Natur for livet. Norsk handlingsplan for naturmangfold.
- Klima- og Miljødepartementet, 2015b. Meld. St. 20 (2014–2015). Melding til Stortinget. Oppdatering av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten med oppdatert beregning av iskanten.
- Klima- og Miljødepartementet, 2017. Meld. St. 35. (2016-2017). Melding til Stortinget. Oppdatering av forvaltningsplanen for Norskehavet.
- Klinger, D.H., Eikeset, A.M., Davidsdottir, B., Winter, A.M., Watson, J.R., 2018. The mechanics of blue growth: Management of oceanic natural resource use with multiple, interacting sectors. *Marine Policy* 87, 356-362.
- Kolarevic, J., Baevefjord, G., Takle, H., Ytteborg, E., Reiten, B.K.M., Nergard, S., Terjesen, B.F., 2014. Performance og welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. *Aquaculture* 432, 15-25.
- Kristoffersen, A.B., Qviller, L., Helgesen, K.O., Vollset, K.W., Viljugrein, H., Jansen, P.A., 2018. Quantitative risk assessment of salmon louse-induced mortality of seaward-migrating post-smolt Atlantic salmon. *Epidemics* 23, 19-33.
- Kusche, H., Hillgruber, N., Rossner, Y., Focken, U., 2017. Plant protein-based feeds og commercial feed enable isotopic tracking of aquaculture emissions into marine macrozoobenthic bioindicator species. *Isotopes in Environmental og Health Studies* 53, 261-273.
- Kusche, H., Hillgruber, N., Rossner, Y., Focken, U., 2018. The effect of different fish feed compositions on delta C-13 og delta N-15 signatures of sea bass og its potential value for tracking mariculture-derived nutrients. *Isotopes in Environmental og Health Studies* 54, 28-40.

- Langford, K., Bæk, K., Kringstad, A., Rundberget, T., Øxnevad, S., Thomas, K.V., 2015. Screening 2014. Screening of the sea lice medications azamethiphos, deltamethrin og cypermethrin. NIVA, Oslo, p. 28.
- Langford, K.H., Oxnevad, S., Schoyen, M., Thomas, K.V., 2014. Do Antiparasitic Medicines Used in Aquaculture Pose a Risk to the Norwegian Aquatic Environment? *Environmental Science & Technology* 48, 7774-7780.
- Langford, K.H., Øxnevad, S., Schøyen, M., Thomas, K.V., 2011. Environmental screening of veterinary medicines used in aquaculture – diflubenzuron og teflubenzuron, Statlig program for forurensningsovervåking. NIVA, Oslo, Norway, p. 51.
- Lester, S.E., Stevens, J.M., Gentry, R.R., Kappel, C.V., Bell, T.W., Costello, C.J., Gaines, S.D., Kiefer, D.A., Maue, C.C., Rensel, J.E., Simons, R.D., Washburn, L., White, C., 2018. Marine spatial planning makes room for offshore aquaculture in crowded coastal waters. *Nature Communications* 9.
- Lillicrap, A., Macken, A., Thomas, K.V., 2015. Recommendations for the inclusion of targeted testing to improve the regulatory environmental risk assessment of veterinary medicines used in aquaculture. *Environment International* 85, 1.
- Litleskare, I., 2018. 2017: Stor nedgang i bruken av legemidler mot lakselus. <https://www.fhi.no/hn/legemiddelbruk/fisk/2017-stor-nedgang-i-bruken-av-legemidler-mot-lakselus/>, fhi.no.
- Liu, Y.J., Rosten, T.W., Henriksen, K., Hognes, E.S., Summerfelt, S., Vinci, B., 2016. Comparative economic performance og carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater og open net pen in seawater. *Aquacultural Engineering* 71, 1-12.
- Lovatelli, A., Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D., 2013. Expanding mariculture farther offshore: technical, environmental, spatial og governance challenges. FAO Technical Workshop, 22–25 March 2010, Orbetello, Italy. , FAO Fisheries og Aquaculture. FAO, Rome, p. 73 pp.
- Lovdata, 2005. Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften). Del 7. Krav til forebygging av forurensning fra visse virksomheter eller utslippskilder. Kapittel 25. Forurensning fra vask og impregnering av oppdrettsnøter.
- Maar, M., Larsen, J., Dahl, K., Riemann, B., 2018. Modelling the environmental impacts of future offshore fish farms in the inner Danish waters. *Aquaculture Environment Interactions* 10, 115-133.
- Macken, A., Lillicrap, A., Langford, K., 2015. Benzoylurea pesticides used as veterinary medicines in aquaculture: Risks og developmental effects on nontarget crustaceans. *Environmental Toxicology og Chemistry* 34, 1533-1542.
- McBriarty, G.J., Kidd, K.A., BurrIDGE, L.E., 2018. Short-Term Effects of the Anti-sea Lice Therapeutant Emamectin Benzoate on Clam Worms (*Nereis virens*). *Archives of Environmental Contamination og Toxicology* 74, 539-545.
- Miljødirektoratet, 2014. Kommentarer til forurensningsforskriften kapittel 25: Regulering av utslipp fra vask og impregnering av oppdrettsnøter
- Miljødirektoratet, 2016. Kobberimpregnering mot begroing av nøter Miljøstatus.no (Miljøinformasjon fra offentlige myndigheter).
- Miljøverndepartementet, 2013. Meld. St. 37 (2012–2013). Melding til Stortinget. Helhetlig forvaltning av det marine miljø i Nordsjøen og Skagerrak (forvaltningsplan).
- Moen, V., Flem, B., Nordahl, T.M., Benden, T.F., Skår, K., 2017. FarmSalmTrack – Sporing basert på grunnstoff i fiskens skjell. Veterinærinstituttet.
- Mortensen, S., Kristiansen, T., Mejdell, C., Uglem, I., Agdestein, A., Basic, B., 2016. Risk assessment of marking og tracing methods with regards to the welfare of farmed salmonids. Opinion of the Panel on Animal Health og Welfare. Vitenskapskomiteen for mattrygghet.
- Newton, R.W., Little, D.C., 2018. Mapping the impacts of farmed Scottish salmon from a life cycle perspective. *International Journal of Life Cycle Assessment* 23, 1018-1029.
- Nilsen, A., Nielsen, K.V., Biering, E., Bergheim, A., 2017. Effective protection against sea lice during the production of Atlantic salmon in floating enclosures. *Aquaculture* 466, 41-50.

- Nilsen, P.N., Trana, K., 2017. Miljødirektoratet krever stans av formalinutslipp i havet. <https://www.nrk.no/trondelag/miljodirektoratet-krever-stans-av-formalinutslipp-i-havet-1.13715810>, nrk.no, nrk.no, 2/10-2017.
- Norsk Olje og Gass, 2018. Miljørapport. Olje- og gassindustriens miljøarbeid. Fakta og utviklingstrekk., p. 80 pp.
- Norsk Vannforening, 2016. Vanndirektivet og fiskeoppdrett (lederartikkel). Vann, 355-357.
- Norsk Industri, 2017. Veikart for havbruksnæringen. Sunn vekst.
- NTB, 2016. Giftig mengde kobber under flere oppdrettsanlegg, Dagens Næringsliv, 23.09.2016.
- Nærings- og fiskeridepartementet, 2015. Meld. St. 16 (2014-2015). Melding til Stortinget. Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett.
- Nørgaard, E., Rognerud, L.M., Storrud, A., 2018. Indikatorer til FNs Bærekraftsmål. Kartlegging av tilgjengelig statistikk i Norge for måling av FNs bærekraftsmål, Notater. Documents. . SSB, Oslo.
- Olafsen, T., 2006. Kostnadsanalyse av ulike begroingshindrende strategier. SINTEF Fiskeri og havbruk AS, p. 23 pp.
- Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y., Skjermo, J., 2012. Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. Rapport fra en arbeidsgruppe oppnevnt av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA). SINTEF Fiskeri og havbruk AS.
- Olsen, S.A., Ervik, A., Grahl-Nielsen, O., 2009. Deep-water shrimp (*Pandalus borealis*, Kroyer 1838) as indicator organism for fish-farm waste. *Journal of Experimental Marine Biology og Ecology* 381, 82-89.
- Olsen, S.A., Ervik, A., Grahl-Nielsen, O., 2012. Tracing fish farm waste in the northern shrimp *Pandalus borealis* (Kroyer, 1838) using lipid biomarkers. *Aquaculture Environment Interactions* 2, 133-144.
- Olsen, Y., Aguilar-Manjarrez, J., Angel, D., Forster, J., Holmer, M., Jeffs, A., Lovatelli, A., Percy, D.R., 2010. Offshore mariculture – Global review og synthesis. NTNU, FAO.
- Olsen, Y., Reinertsen, H., Sommer, U., Vadstein, O., 2014. Responses of biological og chemical components in North East Atlantic coastal water to experimental nitrogen og phosphorus addition - A full scale ecosystem study og its relevance for management. *Science of the Total Environment* 473, 262-274.
- Page, C., Chang, B.D., Beattie, M., Losier, R., McCurdy, P., Bakker, J., Haughn, K., Thorpe, B., Fife, J., Scouten, S., G., B., Ernst, B., 2014. Transport og dispersal of sea lice bath therapeutants from salmon farm net-pens og well-boats operated in Southwest New Brunswick: a mid-project perspective og perspective for discussion. http://publications.gc.ca/collections/collection_2015/mpo-dfo/Fs70-5-2014-102-eng.pdf. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. .
- Page, F.H., Burridge, L., 2014. Estimates of the effects of sea lice chemical therapeutants on non-target organisms associated with releases of therapeutants from tarped net-pens og well-boat bath treatments: a discussion paper. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/103, 36.
- Pochon, X., Wood, S.A., Keeley, N.B., Lejzerowicz, F., Esling, P., Drew, J., Pawlowski, J., 2015. Accurate assessment of the impact of salmon farming on benthic sediment enrichment using foraminiferal metabarcoding. *Marine Pollution Bulletin* 100, 370-382.
- Price, C., Black, K.D., Hargrave, B.T., Morris, J.A., 2015. Marine cage culture og the environment: effects on water quality og primary production. *Aquaculture Environment Interactions* 6, 151-174.
- Prip, C., 2016. Regulation of marine aquaculture in Norway og Denmark –can growth in the industry og protection of the marine environment be combined? Presentasjon tilgjengelig på nett: <http://law.au.dk/fileadmin/Jura/dokumenter/forskning/EELF/Prip.pdf>.
- Refseth, G.H., Sæther, K., Drivdal, M., Nøst, O.A., Augustine, S., Camus, L., Tassara, L., Agnalt, A.-L., Samuelsen, O.B., 2016. Miljørisiko ved bruk av hydrogenperoksid. Økotoksikologisk vurdering og grenseverdi for effekt.
- Rosten, T.W., Terjesen, B.F., Ulgenes, Y., Henderiks, J., Winther, U., 2013. Lukkede oppdrettsanlegg i sjø økt kunnskap er nødvendig. Vann, 5-13.

- Rosten, T.W., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Terjesen, B.F., Biering, E., Winther, U., 2011. Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg - forprosjekt. SINTEF Fiskeri og havbruk AS, p. 75.
- Samuelsen, O.B., 2016. Persistence og Stability of Teflubenzuron og Diflubenzuron When Associated to Organic Particles in Marine Sediment. *Bulletin of Environmental Contamination og Toxicology* 96, 224-228.
- Samuelsen, O.B., Lunestad, B.T., Farestveit, E., Grefsrud, E.S., Hannisdal, R., Holmelid, B., Tjensvoll, T., Agnalt, A.-L., 2014. Mortality og deformities in European lobster (*Homarus gammarus*) juveniles exposed to the anti-parasitic drug teflubenzuron. *Aquatic Toxicology* 149, 8-15.
- Samuelsen, O.B., Lunestad, B.T., Hannisdal, R., Bannister, R., Olsen, S.A., Tjensvoll, T., Farestveit, E., Ervik, A., 2015. Distribution og persistence of the anti sea-lice drug teflubenzuron in wild fauna og sediments around a salmon farm, following a standard treatment. *Science of the Total Environment* 508, 115-121.
- Sander, G., 2018. Against all odds? Implementing a policy for ecosystem-based management of the Barents Sea. *Ocean & Coastal Management* 157, 111-123.
- Sandvik, K., 2016. Under overflaten. En skitten historie om det norske lakseeventyret. Gyldendal Norsk Forlag AS, Trondheim.
- Sanz-Lazaro, C., Sanchez-Jerez, P., 2017. Mussels do not directly assimilate fish farm wastes: Shifting the rationale of integrated multi-trophic aquaculture to a broader scale. *Journal of Environmental Management* 201, 82-88.
- Sele, V., Sanden, M., Berntssen, M.H.G., Lunestad, B.T., Espe, M., Lie, K.K., Amlund, H., Lundebye, A.-K., Hemre, G.-I., Waagbø, R., Ørnsrud, R., 2018. Monitoring program for fish feed, p. 50 pp.
- Silva, C.B., Valente, L.M.P., Matos, E., Brandao, M., Neto, B., 2018. Life cycle assessment of aquafeed ingredients. *International Journal of Life Cycle Assessment* 23, 995-1017.
- Sjømat Norge, 2017. Havbruk2030. Tenke globalt, handle lokalt., p. 16 pp.
- Skarbøvik, E., Allan, I., Sample, J.E., Greipstrand, I., Selvik, J.R., Schanke, L.B., Beldring, S., Stålnacke, P., Kaste, Ø., 2017. Riverine inputs og direct discharges to Norwegian coastal waters – 2016. NIVA – Norwegian Institute for Water Research, p. 85 pp.
- Standard Norge, 2016. Miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg NS 9410:2016.
- Statistisk Sentralbyrå, 2018. Rekordomsetning av oppdrettslaks. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/rekordomsetning-av-oppdrettslaks>.
- Steinhold, M., Thonhagen, M., 2017. Ingen vet hva som har skjedd med alle rekene – nå forsøker forskere å løse mysteriet. <https://www.nrk.no/nordland/ingen-vet-hva-som-har-skjedd-med-alle-rekene--na-forsoker-forskere-a-lose-mysteriet-1.13750961>, nrk.no, <https://www.nrk.no/nordland/ingen-vet-hva-som-har-skjedd-med-alle-rekene--na-forsoker-forskere-a-lose-mysteriet-1.13750961>.
- Stoeck, T., Fruhe, L., Forster, D., Cordier, T., Martins, C.I.M., Pawlowski, J., 2018a. Environmental DNA metabarcoding of benthic bacterial communities indicates the benthic footprint of salmon aquaculture. *Marine Pollution Bulletin* 127, 139-149.
- Stoeck, T., Kochems, R., Forster, D., Lejzerowicz, F., Pawlowski, J., 2018b. Metabarcoding of benthic ciliate communities shows high potential for environmental monitoring in salmon aquaculture. *Ecological Indicators* 85, 153-164.
- Stuiver, M., Soma, K., Koundouri, P., van den Burg, S., Gerritsen, A., Harkamp, T., Dalsgaard, N., Zagonari, F., Guaniche, R., Schouten, J.J., Hommes, S., Giannouli, A., Soderqvist, T., Rosen, L., Garcao, R., Norrman, J., Rockmann, C., de Bel, M., Zanuttigh, B., Petersen, O., Mohlenberg, F., 2016. The Governance of Multi-Use Platforms at Sea for Energy Production og Aquaculture: Challenges for Policy Makers in European Seas. *Sustainability* 8.
- Syse, H.L., 2016. Investigating Off-Grid Energy Solutions for the Salmon Farming Industry, Department of Mechanical og Aerospace Engineering. University of Strathclyde & University of Stavanger, p. 115.
- Taranger, G.L., Karlsen, O., Bannister, R.J., Glover, K.A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B.O., Boxaspen, K.K., Bjorn, P.A., Finstad, B., Madhun, A.S., Morton, H.C., Svasand, T., 2015. Risk

assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *Ices Journal of Marine Science* 72, 997-1021.

Teknologirådet, 2012. Fremtidens lakseoppdrett.

Terjesen, B.F., 2015. Status lukkede anlegg land og sjø – CtrlAQUA SFI som tiltak mot lakselus. [https://www.fhf.no/media/127264/2 - status lukkede anlegg land og sjø - ctrlaqua - terjesen - nofima.pdf](https://www.fhf.no/media/127264/2_-_status_lukkede_anlegg_land_og_sj_-_ctrlaqua_-_terjesen_-_nofima.pdf).

Thesen, G., Aaserød, M.I., Berge, D.M., Bayer, S.B., Leknes, E., 2013. Ett Hav. Muligheter og utfordringer for sameksistens mellom petroleums- og sjømatnæringene.

Thorarinsdóttir, R.I., Jokumsen, A., Björnsson, B.T., Torrisen, O., 2011. Local raw materials for production of fish feed for aquaculture.

Torrissen, O., Olsen, R.E., Toresen, R., Hemre, G.I., Tacon, A.G.J., Asche, F., Hardy, R.W., Lall, S., 2011. Atlantic Salmon (*Salmo salar*): The "Super-Chicken" of the Sea? *Reviews in Fisheries Science* 19, 257-278.

Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., Fang, J.G., 2009. Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297, 1-9.

United Nations, 2015. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>.

Utenriksdepartementet, 2002. St.meld. nr. 12 (2001-2002). Rent og rikt hav (havmiljømeldingen).

Valdemarsen, T., Bannister, R.J., Hansen, P.K., Holmer, M., Ervik, A., 2012. Biogeochemical malfunctioning in sediments beneath a deep-water fish farm. *Environmental Pollution* 170, 15-25.

Valdemarsen, T., Hansen, P.K., Ervik, A., Bannister, R.J., 2015. Impact of deep-water fish farms on benthic macrofauna communities under different hydrodynamic conditions. *Marine Pollution Bulletin* 101, 776-783.

Van Geest, J.L., BurrIDGE, L.E., Fife, F.J., Kidd, K.A., 2014a. Feeding response in marine copepods as a measure of acute toxicity of four anti-sea lice pesticides. *Marine Environmental Research* 101, 145-152.

Van Geest, J.L., BurrIDGE, L.E., Kidd, K.A., 2014b. The toxicity of the anti-sea lice pesticide AlphaMax (R) to the polychaete worm *Nereis virens*. *Aquaculture* 430, 98-106.

Van Geest, J.L., BurrIDGE, L.E., Kidd, K.A., 2014c. Toxicity of two pyrethroid-based anti-sea lice pesticides, AlphaMax (R) og Excis (R), to a marine amphipod in aqueous og sediment exposures. *Aquaculture* 434, 233-240.

Waddy, S.L., Mercer, S.M., Hamilton-Gibson, M.N., Aiken, D.E., BurrIDGE, L.E., 2007a. Feeding response of female American lobsters, *Homarus americanus*, to SLICE (R) - medicated salmon feed. *Aquaculture* 269, 123-129.

Waddy, S.L., Merritt, V.A., Hamilton-Gibson, M.N., Aiken, D.E., BurrIDGE, L.E., 2007b. Relationship between dose of emamectin benzoate og molting response of ovigerous American lobsters (*Homarus americanus*). *Ecotoxicology og Environmental Safety* 67, 95-99.

Wang, X.X., Broch, O.J., Forbord, S., Handa, A., Skjermo, J., Reitan, K.I., Vadstein, O., Olsen, Y., 2014. 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. *Journal of Applied Phycology* 26, 1869-1878.

Wang, X.X., Olsen, L.M., Reitan, K.I., Olsen, Y., 2012. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, og potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions* 2, 267-283.

White, C.A., Bannister, R.J., Dworjanyan, S.A., Husa, V., Nichols, P.D., Dempster, T., 2018. Aquaculture-derived trophic subsidy boosts populations of an ecosystem engineer. *Aquaculture Environment Interactions* 10, 279-289.

Woodcock, S.H., Troedsson, C., Strohmeier, T., Balseiro, P., Skaar, K.S., Strand, O., 2017. Combining biochemical methods to trace organic effluent from fish farms. *Aquaculture Environment Interactions* 9, 429-443.

Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K.A., Stachowicz, J.J., Watson, R., 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314, 787-790.



International Research Institute of Stavanger

Hovedkontor

Postboks 8046
4068 Stavanger
Tlf: 51 87 50 00
Fax: 51 87 52 00

Besøksadresse: Prof. Olav Hanssensvei 15

E-post: firmapost@iris.no

Org. nummer: 988 944 459 MVA

Bergen

Thormøhlensgate 55
5506 Bergen

Mekjarvik

Mekjarvik 12
4072 Randaberg