



SINTEF

Rapport

Påvirkning på klima, miljø og natur fra forskjellige produksjonsformer for laks

Forfatter(e):

Andrea Viken Strand, Cristina-Maria Iordan, Shraddha Mehta

Rapportnummer:

2024:00372 - Åpen

Oppdragsgiver:

FHF

Rapport

Påvirkning på klima, miljø og natur fra forskjellige produksjonsformer for laks

VERSJON

Versjon 1.1

DATO

2024-04-03

FORFATTER(E)

Andrea Viken Strand, Cristina-Maria Iordan, Shraddha Mehta

OPPDRAGSGIVER(E)

FHF

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

901833

PROSJEKTNUMMER

302007308

ANTALL SIDER

42


SAMMENDRAG

Målet med denne rapporten er å kvalitativt kartlegge de viktigste direkte påvirkningene på natur og miljø fra oppdrett av laksefisk, og hvordan dette er ulikt for ulike produksjonsformer. Dette er for å avdekke risiko og muligheter ved hver produksjonsform. Seks produksjonsformer dekkes; tradisjonelle anlegg, nedsenkbare, lukkede, semi-lukkede, landbaserte anlegg og offshore. Rapporten tar for seg et utvalg påvirkningskategorier. Funnene viser at ingen produksjonsform presterer bedre enn de andre innenfor alle kategoriene. Det er behov for mer kunnskap og måling av virkninger for hver produksjonsform innen alle påvirkningsindikatorer, samt at det er viktig med mer forskning på hvordan natur og miljø håndterer påvirkningene fra akvakultur.

UTARBEIDET AV

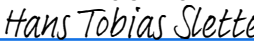
Andrea Viken Strand

SIGNATUR


Andrea Viken Strand (Apr 4, 2024 09:37 GMT+2)**KONTROLLERT AV**

Hans Tobias Slette

SIGNATUR


Hans Tobias Slette (Apr 4, 2024 10:11 GMT+2)**GODKJENT AV**

Sarah Schmidt

SIGNATUR



Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
V0.1	2024-03-20	Sendt til intern kvalitetssikring
V1.0	2024-03-30	Versjon innsendt til FHF
V1.1	2024-04-03	Gjennomgang av språk

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn	5
2	Metode	7
3	Resultat	8
3.1	Reguleringer og overvåkning	8
3.2	Vannforbruk	9
3.3	Energiforbruk	10
3.4	Arealbruk.....	10
3.5	Klimagassutslipp.....	13
3.6	Utslipp til sjø	13
3.6.1	Fôrspill og fekalier.....	13
3.6.1.1	Effekter av utslipp av næringsalter	14
3.6.1.2	Effekter av partikulært utslipp.....	14
3.6.2	Utslipp av groe.....	15
3.6.3	Antibegroingsmidler	16
3.6.4	Plast	17
3.7	Fiskevelferd	17
3.7.1	Påvirkning fra eksternt miljø – bølger, vind og strøm	19
3.7.2	Påvirkning fra andre arter.....	20
3.7.3	Sykdom og smitte	20
3.8	Dødelighet.....	22
3.9	Medisiner og kjemikaliebruk.....	23
3.10	Lakselusbehandling.....	24
3.10.1	Bruk av rensefisk.....	24
3.11	Påvirkning på villaksbestander og andre økosystem	25
3.11.1	Lakselus.....	25
3.11.2	Rømming.....	26
3.11.3	Påvirkning på økosystem: bunnlevende arter og naturtyper.....	26
3.12	Materialbruk og resirkulering	27
4	Produksjonsformers påvirkning på klima, natur og miljø	28
4.1	Tradisjonell.....	30
4.2	Lukket.....	30
4.3	Semi-lukket	31
4.4	Landbasert	31
4.5	Offshore	31
4.6	Nedsenkbar	32

5	Kunnskapshull og datamangler.....	32
6	Konklusjon	33
7	Kilder	35

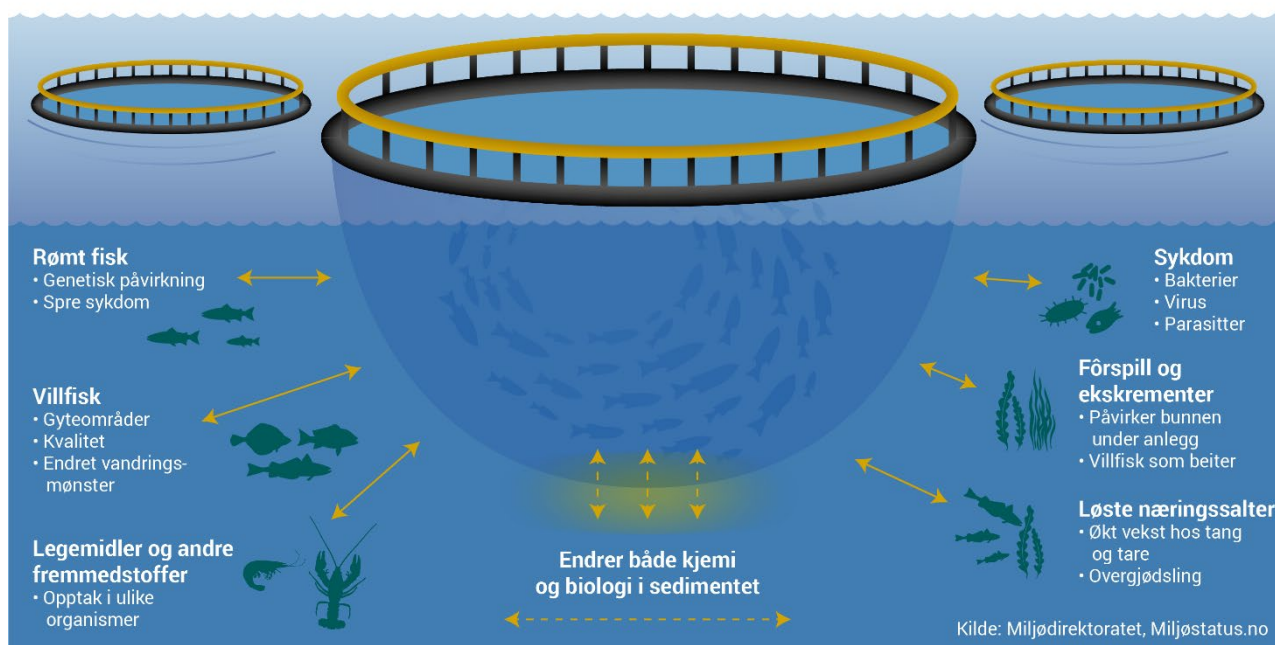
BILAG/VEDLEGG

Klikk eller trykk her for å skrive inn tekst.

1 Bakgrunn

Det er en rekke miljømessige påvirkninger fra norsk lakseoppdrett på både villaks, naturen og andre organismer i sjøen som vist i Figur 1. Mesteparten av dagens oppdrett av matfisk skjer i sjø i tradisjonelle merder. Her slippes både fôrspill, fekalier, og næringsalter rett ut i sjøen. Virus- og bakteriesykdommer kan smitte mellom oppdrettsanlegg, og over til villfisk. Rømt laks kan forårsake genetisk innkryssing i villakspopulasjoner, og spre sykdommer. Kjemiske stoffer fra notimpregnering og medisinsk behandling av lakselus kan negativt påvirke andre arter. Mye er kjent om hvilken påvirkning tradisjonelle anlegg har, selv om det fortsatt er mangel på kunnskap og data både rundt utslippsmengder, og påvirkning på naturmangfold og økosystem. Det er også lite kunnskap om hvordan nye produksjonsformer påvirker natur og miljø. Denne rapporten tar for seg et utvalg påvirkningskategorier og vurderer hvordan produksjonsformene lukket, semi-lukket, landbasert, offshore, tradisjonelle og nedsenkbare anlegg påvirker natur og miljø.

Påvirkning fra fiskeoppdrett



Figur 1: Påvirkning på natur og miljø fra oppdrett i sjø. Kilde: (Miljødirektoratet, n.d.).

Siden 1980- og 1990-tallet har det skjedd flere endringer innen norsk oppdrett. Tidligere var bruk og utslipp av antibiotika en større risiko, og organisk utslipp og påvirkning på bunnmiljø hadde stort fokus (Grefsrud et al., 2024). Økt vaksinerings og strengere restriksjoner har redusert bruken av antibiotika. Pålagt overvåking av bunnmiljø gjennom NS 9410 har hjulpet for å bedre bunnmiljøet. Nye oppdrettsanlegg legges også i større grad på strømrrike lokaliteter der utslipp fortynnes og spres (Grefsrud et al., 2024). 91 % av gjennomførte undersøkelser av miljøet på havbunnen under anleggene, B-undersøkelser, har nå en miljøtilstand tilsvarende "god" eller "meget god" (Barentswatch, 2024b). Det arbeides også med en revidert standard som inkluderer miljøovervåking av hardbunn (Grefsrud et al., 2024).

Det siste året har norsk oppdrett vært i en mediestorm. I hovedsak handlet de fleste sakene om dårlig fiskevelferd (Omvik, 2023; Tomter, 2023), men også utslipp fra settefiskanlegg (Nordahl et al., 2023) og nedbygging av natur for bygging av landbaserte anlegg fikk oppslag i mediene (Støstad et al., 2024). I 2023 var det rekordhøy dødelighet i norsk lakseoppdrett med 62,8 millioner døde laks i sjøfasen – som tilsvarer 16,7 % dødelighet – som følge av blant annet infeksjonssykdommer, skader og angrep fra perlesnormaneter (Sommerset et al., 2024). Dette har utløst flere tiltak i næringen og oppdrettsselskapet SalMar og

fôrproduzenten Cargill skal bruke 500 millioner NOK på et nytt innovasjonssenter for å bedre laksevelferd (Drønen, 2024). Mekanisk avlusning av laks ble karakterisert som den største utfordringen for fiskevelferden i 2023 (Sommerstet et al., 2024).

For å møte utfordringer knyttet til arealmangel og negative påvirkninger på miljøet åpnet norske myndigheter i 2015 opp for tildeling av utviklingstillatelser. Dette skulle incentivere økt teknologisk utvikling av produksjonsformer. Moe Føre et al. (2022) gjennomgikk 104 søknader for utviklingstillatelser og undersøkte hvilke konsepter som ble tildelt tillatelser. Det var 23 konsepter som fikk tillatelser og av disse var det flere store offshore konsepter. For produksjon ved skjermede lokaliteter var det flere lukkede konsepter som fikk tillatelser. Majoriteten av søknadene som fikk tillatelser hadde løsninger for å forbedre miljømessig bærekraft, som skulle redusere lakselus (100 %), hindre rømminger (91 %), forbedre fiskevelferd (70 %) eller muligheter for slamoppsamling (43 %). Disse nye konseptene blir i hovedsak kategorisert innen produksjonsformene lukket, semi-lukket, nedsenkbar og offshore. Innen hver produksjonsform finnes det ulike konsepter, som gjør at det er en større variasjon innen design og løsninger enn det er for tradisjonelle anlegg. I tillegg er det også flere aktører som produserer matfisk eller post-smolt i landbaserte anlegg.

Målet med denne rapporten er å kvalitativt kartlegge de viktigste direkte påvirkningene på natur og miljø fra oppdrett av laksefisk og hvordan de skiller seg mellom ulike produksjonsformer. Dette gjøres for å avdekke risiko og muligheter ved hver produksjonsform. Det er inkludert seks produksjonsformer; tradisjonelle anlegg, nedsenkbare, lukkede, semi-lukkede, landbaserte og offshore anlegg. Offshore anlegg kan brukes både ved havbruk til havs (utenfor grunnlinjen) eller kystnært ved eksponerte lokaliteter. Denne rapporten er en delrapport i prosjektet "Økt kunnskap om klima-, natur- og miljøpåvirkninger fra ulike produksjonsformer for laks"¹ (FHF #901833). Rapporten tar for seg et utvalg påvirkningskategorier, som ble definert i delrapporten *Oversikt over påvirkningsfaktorer for produksjonsformers bærekraft* (Slette et al., 2023). De følgende påvirkningskategoriene ble valgt ut som relevante for miljømessig bærekraft:

- Vannforbruk
- Energiforbruk
- Arealbruk
- Klimagassutslipp
- Utslipp til sjø
- Fiskehelse- og velferd
- Dødelighet
- Medisin- og kjemikaliebruk
- Lusepåslag og behandlinger
- Rømming
- Påvirkning på økosystem
- Materialbruk og resirkulering

Fôrproduksjon er utenfor rammene til prosjektet og er ikke inkludert i denne rapporten. Fôrspill er likevel inkludert ettersom det har en lokal påvirkning og varierer mellom produksjonsformene. Denne delrapporten må også ses i sammenheng med en tidligere publisert delrapport fra prosjektet, *Environmental impacts of emerging salmon aquaculture technologies* hvor det ble gjennomført en livssyklusanalyse (LCA) av produksjonsformene (Iordan et al., 2024). Der ble påvirkningskategoriene klimagassutslipp, eutrofieringspotensiale, økotoksisitet og terrestrisk forurensning kvantifisert. Til sammen gir rapportene en kvantitativ og kvalitativ vurdering av produksjonsformers påvirkning på klima-, natur- og miljø. Rapportene

¹ <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901833/>

danner også grunnlaget for å vurdere miljømessig bærekraft i fremtidige scenarier for norsk lakseoppdrett, som vil inkluderes i prosjektets sluttrapport.

2 Metode

Rapporten har som mål å beskrive nåværende kunnskap og omfang av ulike miljømessige indikatorer for norsk lakseoppdrett, og hvilke risikoer og muligheter hver produksjonsform har innen hver indikator. Det er inkludert seks produksjonsformer; tradisjonell, nedsenkbar, lukket, semi-lukket, landbasert og offshore. Offshore løsninger kan være aktuelle for havbruk til havs eller plasseres på eksponerte, kystnære lokaliteter. Lukkede anlegg refererer til anlegg i sjø med slamoppsamling og for semi-lukkede anlegg antas det som minimum at det er en delvis barriere mot sjøen rundt. Det er ikke tiltenkt en beskrivelse av noen spesifikke konsepter, men der det er aktuelt så trekkes det frem løsninger eller eksempler på konkrete konsepter. Følgelig er vurderingene som gis her på et overordnet og generisk nivå, og med gitte forutsetninger.

Funnene i denne rapporten bygger på eksisterende forskning og litteratur, samt forfatterens egne vurderinger. Effekter og risiko knyttet til utslipp av organisk materiale, legemidler samt fiskehelseaspekter bygger på resultater fra årlige rapporter som *Risikorapport for norsk oppdrett* utgitt av Havforskningsinstituttet, og *Fiskehelse rapporten* utgitt av Veterinærinstituttet. Havforskningsinstituttet publiserer årlig *Risikorapport for norsk oppdrett* for å sammenstille kunnskap og vurdere påvirkningsfaktorer på natur og miljø fra oppdrett (Grefsrud et al., 2024). De siste årene har rapportene satt søkelys på effekter på vann- og bunnmiljø, vill laksefisk og annen villfisk, bruk av rensefisk og velferd til oppdrettsfisk. *Fiskehelse rapporten* gis ut årlig av Veterinærinstituttet og beskriver velferden og helsen til norsk laks (Sommerset et al., 2024). Rapporten baserer seg både på innrapportert data til Fiskeridirektoratet og Mattilsynet, samt data fra private laboratorier og en spørreundersøkelse til fiskehelsepersonell.

Misund og Thorvaldsen (2022) har gjennom prosjektet Compareit² kartlagt utfordringer og muligheter med landbasert, semi-lukket, lukket og offshore havbruk gjennom intervjuer og workshops med representanter fra næringen. Resultater herfra er brukt for å vise hvilke påvirkninger næringen forventer at en produksjonsform vil ha på natur og miljø. Siden mange av produksjonsformene er nye og er i utviklings- og pilotfasen så er kunnskapsgrunnlaget per dags dato usikkert.

Det er også gjennomført et litteratursøk med fokus på fagfelleverderte artikler publisert i vitenskapelige journaler for å kartlegge indikatorene i relasjon til produksjonsformene. Google Scholar har blitt brukt som søkemotor og det har blitt gjort søk både på norsk og engelsk. Det har blitt gjort søk på produksjonsform og påvirkningskategori sammen som for eksempel: "fish welfare" + "closed salmon aquaculture". En gjennomgang av bransjemedier som IntraFish, kyst.no og ilaks.no har blitt brukt for å finne spesifikke saker om produksjonsformene samt å få innspill om hva bransjen og aktørene anser å være utfordringer og muligheter relatert til påvirkning på natur og miljø. Gjennom intervjuer i prosjektet gjennomført i arbeidspakke 1 og 2 har informanter fra leverandørindustri og oppdrettere som driver oppdrett med de aktuelle produksjonsformene deltatt med innsikt og informasjon – dette har også blitt tatt med i denne rapporten.

Rapporten gir en innføring i gjeldende reguleringer og miljøovervåking, og går deretter gjennom påvirkningskategoriene etterfulgt av informasjon om hvordan en produksjonsform kan ha en fordel eller ulempe med tanke på gitt indikator. Dersom det ikke er tilgjengelig litteratur er dette beskrevet som et kunnskapshull og vi har gjort egne vurderinger basert på det vi mener kan forventes ut ifra tilgjengelig informasjon. Det er også gitt en oversikt over hvilke undersøkelser og rapporteringer oppdrettere er pålagt å følge for de beskrevne indikatorene.

² <https://www.sintef.no/projectweb/compareit/>

3 Resultat

3.1 Reguleringer og overvåkning

Drift av akvakulturanlegg reguleres etter akvakulturdriftforskriften (Lovdata, 2008). Forskriften har som mål å fremme god helse og velferd hos oppdrettede arter og å forebygge og redusere forurensing og avfall fra akvakulturanlegg. Oppdrettere må blant annet overvåke og rapportere dødsfall, rømminger, luseforekomster og miljøundersøkelser på havbunn. Etter hver produksjonssyklus må et anlegg brakklegges i minimum 2 måneder. Dette gjøres for å hindre smittespredning og redusere påvirkning på miljøet.

I 2017 ble kysten delt inn i 13 produksjonsområder for oppdrett av laksefisk (se Figur 2). Produksjonsvolumet og veksten i hvert område reguleres av produksjonsområdeforskriften (Lovdata, 2017). Forskriften baseres kun på en indikator – dødelighet for utvandrede ville laksesmolt som følge av lakselus. Basert på denne indikatoren vurderes produksjonsområdene til å ha en akseptabel, moderat, eller uakseptabel miljøpåvirkning.



Figur 2: Oversikt over produksjonsområdene med fargekoding for miljøpåvirkning. Grønn tilsvarende akseptabel påvirkning, gul er moderat og rød er uakseptabel påvirkning. Kartet er generert ved bruk av Fiskeridirektoratets kartverktøy (Fiskeridirektoratet, 2024a).

Den vurderte miljøpåvirkningen blir fargekodet med henholdsvis grønn, gul, og rød farge. Denne reguleringen er også kjent som trafikklyssystemet. Vurdering gjelder for to år før det gjøres en ny vurdering. Akseptabel tilstand (grønn) tilsvarer at under 10 % av utvandrede ville laksesmolt dør og produksjonsområder med denne tilstanden kan øke produksjon med 6 % annethvert år. Dersom dødeligheten på villakssmolten er over 30 % regnes tilstanden som uakseptabel og produksjonene må reduseres med 6 % annethvert år. Dersom dødeligheten er mellom 10 % og 30 % regnes tilstanden som moderat og det er ingen vekst eller reduksjon i produksjonsområdet.

Alle oppdrettsanlegg til sjøs er pålagt å overvåke miljøtilstanden gjennom B- og C-undersøkelser på bunnen under og rundt oppdrettsanleggene (Grefsrud et al., 2024). Dette ble pålagt i år 2000 ved introduksjonen av Norsk Standard NS 9410³. Målet med B- og C-undersøkelser er å undersøke at miljøet ikke overbelastes over tid. På bløtbunn undersøkes sedimentets kjemi og bunnfauna opp mot grenseverdier fastsatt av Norsk Standard NS 9410 og Veileder for klassifisering av miljøtilstand i vann. B-undersøkelser skjer under og rundt anleggene mens C-undersøkelser er mer omfattende og undersøker havbunnen ca. 600 meter rundt anlegget. Resultatene fra undersøkelsen gir et anlegg en miljøtilstand på "svært dårlig", "meget dårlig", "meget god" eller "svært god". Dersom tilstanden er dårlig settes det i gang tiltak som f.eks. forlenget brakklegging av lokaliteten eller nedskalering av produksjon, og tilstanden må undersøkes oftere. Minst en gang per produksjonssyklus må miljøtilstanden undersøkes med B-undersøkelse, og minimum hver tredje produksjonssyklus må det utføres en C-undersøkelse. Dermed er tall for miljøtilstander som vist i *Risikorapporten* gjerne basert på 2 år og 5 år gamle prøver, henholdsvis for B- og C-undersøkelser (Grefsrud et al., 2024).

I 2024 kom det et nytt forurensingsregelverk for havbruk (Fiskeridepartementet, 2024). Med regelverksendringen går det bort fra individuelle utslippstillatelser til fordel for forskriftsfestede standardvilkår for forurensing. Det innføres også nye minstekrav til miljødokumentasjon for nye lokalitetssøknader. Bakgrunnen for regelverksendringen er at mange av utslippstillatelsene for havbruk er gamle og ikke oppdaterte i forhold til ny teknologi og kunnskap om påvirkning på natur og miljø. Ved endring av produksjonsform må det gjennomføres nye miljøundersøkelser. Dette begrunnes med at det for eksempel ved nedsenkbare anlegg er andre strømforhold dypere i vannmassene enn det er ved vannoverflaten.

3.2 Vannforbruk

Ved vannforbruk er det forbruk av ferskvann som anses som en begrenset ressurs i en global sammenheng, men for Norge er tilgang til ferskvann ikke ansett som kritisk. Oppdrett av matfisk skjer i saltvann. I settefiskproduksjon brukes ferskvann og dette skjer på land i enten Resirkulerende Akvakultursystem (RAS), hybride systemer eller gjennomstrømningsanlegg. For å få tillatelse til et landbasert anlegg med ferskvannuttak kreves det tillatelse fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE, 2023). Siden det kreves settefiskproduksjon for alle produksjonstypene er det ikke noen forskjell i ferskvannforbruket til produksjonsformene. Lus kan også behandles med ferskvann, men det er ikke inkludert i vurderingen her da det anses som et negligjerbart uttak av ferskvann i nasjonal sammenheng i Norge.

Ved produksjon i gjennomstrømningsanlegg er det behov for stort inntak av vann fra en ferskvannskilde. Ifølge beregninger av Kittelsen et al. (2006) vil en produksjon med maksimal biomasse på 100 tonn settefisk på 100 gram kreve 20 m³ vann/min. Vannkilder til bruk for settefiskproduksjon er gjerne innsjøer og grunnvannsmagasiner som helst er i høydeintervallet 20-300 meter over havnivå (Kittelsen et al., 2006). Det kan være konkurranse om de samme vannkildene til kraftproduksjon, jordvanning og drikkevannsuttak. I RAS-anlegg resirkuleres opptil 99,9 % av vannet (AKVA Group, 2022), og det er mindre behov for

³ <https://standard.no/fagomrader/fiskeri-og-akvakultur/miljoovervaking-av-matfiskanlegg/>

ferskvannsinntak sammenlignet med et gjennomstrømningsanlegg. Utslipp fra settefiskanlegg går i hovedsak til sjø og settefiskanleggene er lokalisert langs kysten. Ved produksjon av post-smolt på land overføres smolten til sjøvann etter smoltifisering.

3.3 Energiforbruk

Ifølge Nistad et al. (2021) er det kun 55 % av oppdrettsanlegg til sjøs som er fullstendig elektrifiserte. En oppdatert kartlegging fra prosjektet EnerSea⁴ (FHF #901866) viser at det kan være så lite som 44 % av anleggene som er elektrifiserte. De resterende anleggene er delvis eller helt drevne på dieselgeneratorer. Stort sett kreves det utbygging av strømmettet for å få elektrifisert anleggene. Eksisterende landbaserte anlegg er fullstendig elektrifiserte, men har et mye høyere energiforbruk enn det oppdrett i sjø har. Det er estimert ca. 6-9 kWh/kg laks i RAS-anlegg av Hilmarsen et al. (2018). Anlegg i sjø med elektrifisert fôrlåte har i gjennomsnitt et forbruk på 0,09 kWh/kg laks (Nistad et al., 2021). Det er relativt likt energibehov for RAS- og gjennomstrømningsanlegg, ifølge Nistad et al. (2021). Økt produksjon på land vil derfor kreve mer energi, men vil sannsynligvis i større grad være elektrifisert enn produksjon i sjø.

Både offshore, lukket og semi-lukkede anlegg i sjø har et høyere energiforbruk enn tradisjonelle anlegg. Nedsenkbare anlegg har et lavere energiforbruk, basert på at det brukes vannbåren fôring i stedet enn luftbåren fôring, samt at mindre energi blir brukt i lusebehandling. Basert på informasjon fra industriaktører er energibehovet i kWh per kg produsert fisk i offshore alt fra 1,3 til 8,4 ganger høyere enn for tradisjonelt havbruk. Oppdrett i lukkede eller semi-lukkede anlegg krever mellom 1,1 til 26 ganger mer kWh per kg produsert fisk enn for tradisjonelt havbruk. Det store spennet skyldes at det er ulike løsninger med og uten pumping av vann og tilføring av oksygen. Fra en informant i leverandørindustrien ble det oppgitt at energibehovet ved nedsenket produksjon er om lag 40 % lavere enn for tradisjonell teknologi pga. mer effektiv fôring med vannbårent system.

Det kan være en utfordring for offshore anlegg å få koblet seg på kraftnettet i Norge dersom beliggenheten er langt fra kysten. Å bygge ut kraftnettet vil medføre inngrep i naturen i varierende grad, alt fra kabler på noen hundre meter til flere kilometer lange kabler. Uten tilkobling til kraftnettet vil anleggene bli drevet av fossile brennstoff og ha et høyere utslipp av klimagasser, noe som gjør at miljøfotavtrykket øker. Offshore havbruk kan ha muligheter til å kombineres med offshore vind-produksjon, noe som kan forsyne offshore havbruk med fornybar energi (Holm et al., 2017). 18 % av søknadene til utviklingstillatelsene planla å driftes på vindkraft, bølgekraft, solkraft eller biogass (Moe Føre et al., 2022). Hvorvidt miljøfotavtrykket til energi fra offshore vind er lavere enn fossil energi er et viktig tema å undersøke videre.

3.4 Arealbruk

Selv om anlegg i sjø opptar et areal og påvirker havbunn under og rundt anleggene så anses ikke dette som permanent påvirkning på arealet og miljøet. Dette er fordi anleggene ikke krever permanente konstruksjoner og utslipp av organiske partikler består av lett nedbrytbare forbindelser. Det antas derfor at økosystemet vil kunne hente seg inn igjen dersom anlegget tas bort (Grefsrud et al., 2024).

Landbaserte anlegg med produksjonskapasitet på 5 000 - 10 000 tonn årlig biomasse vil kreve ca. 6 m²/kg produksjonskapasitet ifølge Hilmarsen et al. (2018). Nærhet til sjø er viktig for inntak og utslipp av vann. Dersom det ikke er tilgjengelige industritomter vil etablering av landbaserte anlegg føre til nedbygging av natur langs norskekysten. Hilmarsen et al. (2018) estimerte at dette ville tilsvare 4 238- 21 190 km² dersom hele produksjonen i 2017 på ca. 1,3 millioner tonn ble flyttet på land. Arealbruken tilsvarer henholdsvis 650

⁴ <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901866/>

anlegg med 2 000 tonn årlig kapasitet eller 130 anlegg med 10 000 årlig kapasitet. Her inkluderer også forfatterne et smittehygienisk areal, og det antas at hvert anlegg har et areal på 32,6 km².

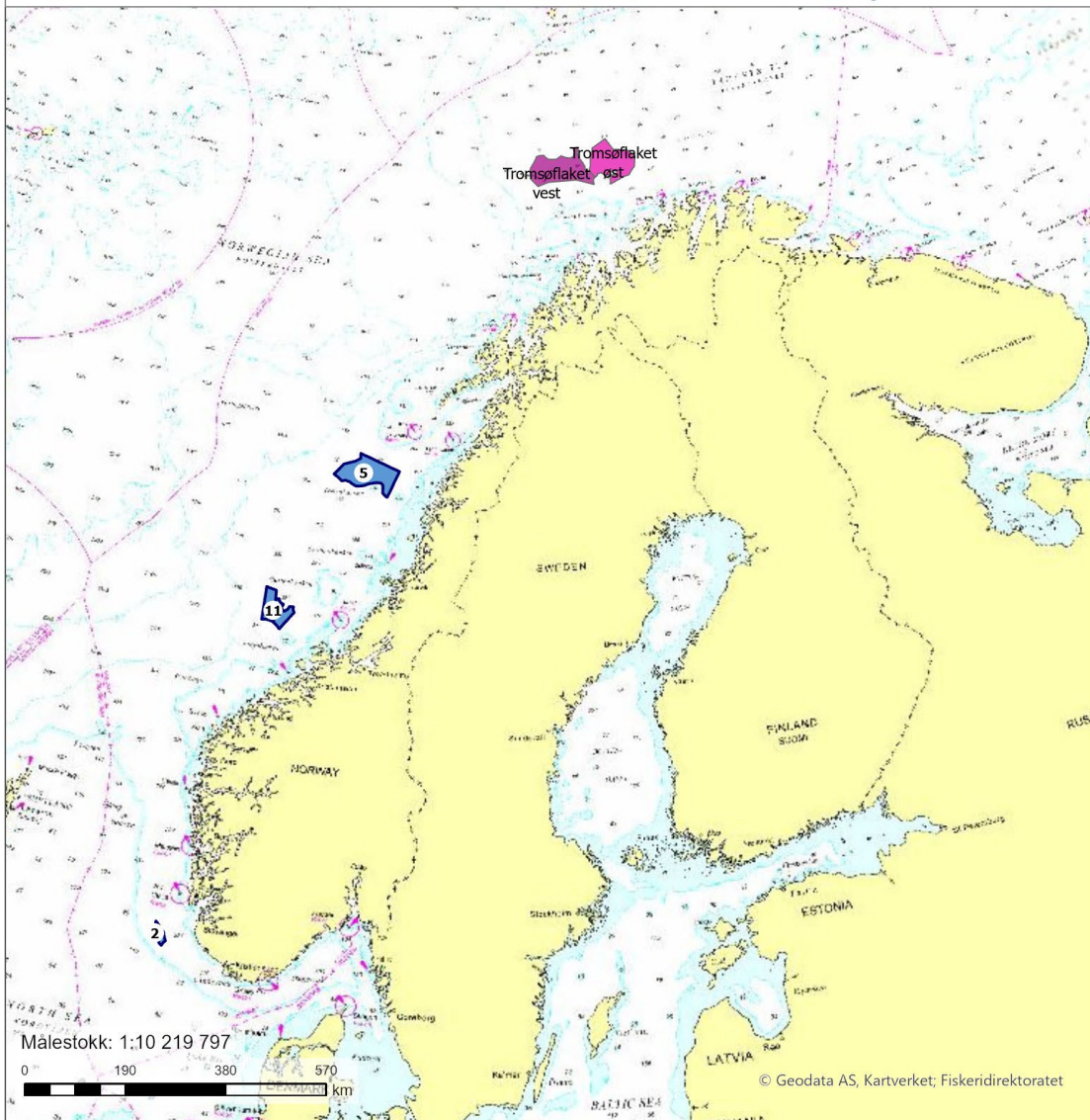
Endring i arealbruk og overflate kan medføre påvirkning på klimaet, eksempelvis når arealbruk er omdisponert fra myr til et utbygd areal. Dette gjelder både direkte utslipp av karbon til luft fra jord og vegetasjon, og tap av opptak de neste 20 årene på grunn av konvertering av areal. Beregningen gjøres ved å bruke standard utslippsfaktorer eller mer detaljerte beregninger som tar hensyn til lokale forhold og ofte benytter simuleringsmodeller. Innenfor LCA-rammeverket finnes det ikke en metode for å kvantifisere påvirkning fra endringer i havarealet tilsvarende det som gjøres for areal på land. Likevel er det gjort flere forsøk på å utlede en metode som kan koble areaendring i havbunnsområdet til konsekvensene for klimaendringene (Langlois et al., 2014).

I studien gjennomført av Misund og Thorvaldsen (2022) ble det identifisert at informantene så på det som fordelaktig å ta i bruk eksisterende industritomter for landbasert oppdrett. De påpekte at det også er en mulighet å benytte seg av biprodukter fra andre industrier langs kysten som f.eks. oksygen fra hydrogenproduksjon. Dersom landbasert oppdrett må bruke nye tomter vil arealinngrepene være irreversible f.eks. dersom det vil kreve sprengning av fjell.

Moe Føre et al. (2022) kategoriserte tre typer areal til sjøs basert på bølgehøyde. Områder med bølger på opptil 2 meter ble kategorisert som skjermede, 2-4 meter som kystnære, og over 4 meter som åpent hav. Seks av søknadene som fikk utviklingstillatelse hadde konsept for skjermede lokaliteter, åtte søknader hadde konsept for kystnære lokaliteter, og ni av søknadene hadde konsept for åpent hav. Av konseptene for skjermede lokaliteter var alle en form for lukket produksjon. For kystnære områder var det konsepter med barriere mot lakselus (luseskjørt, semi-lukkede og lukkede konsepter) som fikk utviklingstillatelse. Av konsepter for åpent hav var det tiltak for bølger som var sentralt. F.eks. nedsenket drift, sterke strukturer eller muligheten til å flytte anlegget til roligere områder ved veldig høye bølger. Misund og Thorvaldsen (2022) trekker også frem at semi-lukket og lukket produksjon kan benytte seg av lokaliteter langs fjorden som ikke tidligere har vært egnet for oppdrett grunnet blant annet suboptimale strømforhold og dybde.

Offshore anlegg kan både brukes i havbruk til havs og ved eksponerte, men kystnære lokaliteter. For havbruk til havs er det ofte rundt 14 meter signifikant bølgehøyde som regnes som åpent hav. Havbruk til havs vil kunne benytte seg av areal som ikke kan brukes til tradisjonelt havbruk i dag, som for eksempel utenfor grunnlinjen. Tre områder har nå blitt godkjent for konsekvensutredning for havbruk til havs og to nye blir vurdert for konsekvensutredning utenfor Troms og Finnmark (se Figur 3). Produksjon i offshore anlegg krever bruk av post-smolt og dermed må areal til post-smolt produksjon også tas med i det totale arealbehovet til offshore produksjonsformer (Misund and Thorvaldsen, 2022). Dersom produksjon av post-smolt skjer i landbaserte anlegg er det rimelig å anta at produksjon i offshore anlegg kan føre til mer irreversibel nedbygging av natur på land.

Kart Fiskeridirektoratet



Områder Havbruk til havs


 Anbefaling 2022

Innspillsområder 2023

Tromsøflaket

Tromsøflaket øst og vest

 Tromsøflaket vest

 Tromsøflaket øst

Figur 3: Områder som er godkjent for konsekvensutredning for havbruk til havs (i blått), og områder vurdert for konsekvensutredning for havbruk til havs (i lilla). Kartet er generert ved bruk av Fiskeridirektoratets kartverktøy (Fiskeridirektoratet, 2024b).

3.5 Klimagassutslipp

I rapporten *Environmental impacts of emerging salmon aquaculture technologies* ble det beregnet klimagassutslipp fra de ulike produksjonsformene ved hjelp av LCA (Iordan et al., 2024). For offshore og semi-lukket så ble det vurdert to ulike konsepter innen hver produksjonsform. Estimert påvirkning på klimaendringer ved bruk av GWP100-metrikken⁵ er mellom 390 og 917 g CO₂-ekvivalenter per kg laks før slakt for de ulike produksjonsformene, som vist i Tabell 1. Det finnes også andre metrikker for å måle potensialet for global oppvarming fra utslipp av klimagasser som f.eks. GWP20 som gir et estimat på globalt oppvarmingspotensial for et tjueårsperspektiv. GWP100 brukes for et hundreårsperspektiv. Størst påvirkning på klimaendringer fra de vurderte konseptene er det fra ett konsept for offshore, mens det laveste var for et av de semilukkede konseptene. Samlet sett, for alle produksjonsformer unntatt landbasert, er den viktigste bidragsyteren til GWP100 dieselforbruk og forbrenning i brønnbåter, arbeidsbåter og servicefartøy. Energiforbruk (elektrisitet) er den største driveren for klimagassutslipp for landbasert teknologi mens dieselbruk i brønnbåter var den nest største. For begge de vurderte offshore-konseptene var materialbruk den nest høyeste driveren, i hovedsak grunnet produksjon av stål.

Tabell 1: Karbonfotavtrykk per produksjonsform estimert av Iordan et al. (2024).

Produksjonsform	Karbonfotavtrykk per kg laks før slakt (g CO ₂ -ekv.)
Tradisjonell	522
Lukket	556
Semi-lukket	390-629
Offshore	666-917
Landbasert	567
Nedsenkbar	433

3.6 Utslipp til sjø

Direkte utslipp fra oppdrett til sjø består av både av legemidler, fekalier, fôrspill, næringsalter, mikroplast, makroplast, groe og antibegroingsmidler. I hovedsak slippes alle disse stoffene direkte ut ved oppdrett i sjø. Gjennom B- og C-undersøkelser overvåker oppdrettere miljøtilstanden til havbunnen under og rundt anleggene og rapporterer resultatene til myndighetene. Dette kapitlet gir en oversikt over ulike typer direkte utslipp fra oppdrett og om mengden eller type utslipp varierer mellom produksjonsformene.

3.6.1 Fôrspill og fekalier

Slam består av både fôrspill og fekalier. Utslipp av fôr kan spises av villfisk og andre organismer. Fôrspill består både av hele pellets og fôrstøv. Havforskningsinstituttet estimerer at fôrspillet er mellom 5 og 11 % av fôrmengden og at mengden fekalier tilsvarer 29,2 % av fôringsmengden (Grefsrud et al., 2024). Basert på fôrforbruket i 2023, som var på 2 033 566 tonn, er det mellom 659 480 og 817 494 tonn organisk utslipp fra matfiskanlegg langs kysten (Grefsrud et al., 2024). Dette gir i snitt 789-939 tonn per lokalitet, gitt 871 aktive lokaliteter i 2023. Ved lokaliteter som har lavere strømhastigheter (<5 cm/s) vil mer av fôrspillet og fekaliene deponeres under og omkring anlegget (Valdemarsen et al., 2015; Broch et al., 2017). Ved høyere strømhastigheter vil det spres utover et større område, og belastningen under anlegget vil være lavere.

⁵ <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabell-for-omregning-av-co2-ekvivalenter/>

I tradisjonelt oppdrett slippes slammet direkte ut i vannmassene. Slammet inneholder næringsalter som fosfor og nitrogen. Wang et al. (2012) anslår at 62 % av nitrogenet og 70 % av fosforet i fôret slippes ut via fôrspill, fekalier og via gjellene til fisken. Denne prosentandelen avhenger av fôrkomposisjon og retensjon av næringsalter hos fisken. Broch & Ellingsen (2020) har estimert utslipp av karbon, nitrogen og fosfor fra norske oppdrettsanlegg basert på en massebalanse-modell utviklet av Wang et al. (2012). Denne modellen er også brukt i dette prosjektet for å evaluere eutrofieringspotensialet til ulike produksjonsformer for laks. Dette er presentert i delrapporten *Environmental impacts of emerging salmon aquaculture technologies* (Iordan et al., 2024). Slam fra lakseoppdrett kan også bearbeides og brukes til blant annet gjødsel eller biogassproduksjon. Det er for øvrig mer utfordrende å ta i bruk slam fra matfiskproduksjon enn settefiskproduksjon ettersom det er høyere saltkonsentrasjon i slam fra matfiskproduksjon (Aas, 2021).

3.6.1.1 Effekter av utslipp av næringsalter

Fosfor og nitrogen er næringsalter som blir sluppet ut i vannmassene i oppløst form via gjellene til fisken, og i partikulær form som fôrspill og fekalier. Utslipp av næringsalter som nitrogen og fosfor kan føre til overgjødning, også kalt eutrofiering, av henholdsvis marine- og ferskvannkilder. Utslipp av nitrogen i form av ammonium kan tas opp av flere primærprodusenter som planteplankton, makroalger og marine karplanter. Det er begrenset tilgang på nitrogen langs norskekysten mens fosfor ikke er et begrenset næringsstoff (Uglem et al., 2020). Utslipp fra akvakultur er den største kilden til næringsalter langs kysten (Sample, 2023).

Økt produksjon av planteplankton som en konsekvens av økt nivå av næringsalter kan igjen forårsake større nedfall og økt nedbrytning av organisk materiale. Dette kan føre til redusert oksygenkonsentrasjon i bunnvannet (Grefsrud et al., 2024). Økte utslipp av næringsalter kan også endre sammensetningen av makroalgensamfunn, der trådformede brunalger og grønnalger tar over for tang og tare (Grefsrud et al., 2024). Dette har blant annet vært observert i Oslofjorden som følge av kloakk og utslipp fra industri og landbruk. Det er derimot ikke vist effekter fra overgjødning i Hardangerfjorden, der oppdrettsintensiteten er høy (Grefsrud et al., 2024).

Det har vært flere hendelser med oppblomstring av giftige alger i Nordland og Troms, spesielt sommeren 2019, noe som førte til høy dødelighet i flere oppdrettsanlegg (Grefsrud et al., 2024). Estimerer fra Havforskningsinstituttet pekte på at det er teoretisk sett lav økning av planteproduksjon pga. utslipp fra oppdrett og at det derfor var lite sannsynlig at utslipp fra oppdrett som enkeltkilde var årsak i algeoppblomstringene (Boxaspen and Husa, 2019).

Havforskningsinstituttet vurderer sannsynligheten for negative effekter av utslipp av næringsalter som lav for alle produksjonsområdene ettersom norske kyst- og fjordområder stort sett er næringsfattige, og den beregnede økningen i planteproduksjon er estimert lavt – mellom 1,5 og 20,6 % (Grefsrud et al., 2024). De fleste oppdrettsanlegg er også lokalisert i områder med god vannutsiftning der næringsalter spres og fortynnes. Faren for eutrofiering ved utslipp av næringsalter fra menneskelig aktivitet ble kartlagt av Niva på oppdrag av Miljødirektoratet i 2016 og risikoen ble ansett som størst ved indre kyst- og fjordområder, samt langs Skagerakskysten der det ikke er oppdrettsaktivitet (Norderhaug et al., 2016).

3.6.1.2 Effekter av partikulært utslipp

Utslipp av partikulært materiale fra oppdrett kan føre til lavere oksygenivå ved havbunnen gjennom økt nedbrytning av organisk materiale og forbruk av oksygen ved nedbrytningen (Grefsrud et al., 2024). Over tid kan det føre til endringer i bunndyrsamfunnet under anleggene. Alle anlegg til sjøs må gjennomføre B- og C-undersøkelser for å overvåke miljøtilstanden under anleggene. Disse skal avdekke påvirkning fra utslipp av partikulært organisk materiale. Basert på resultatene fra B- og C-undersøkelsene vurderer Havforskningsinstituttet risikoen knyttet til bunnpåvirkning fra oppdrett i sjø som lav for 10 av

produksjonsområdene, men for produksjonsområde 3, 4 og 9 er den vurdert som moderat (Grefsrud et al., 2024). For anlegg som får tilstanden "meget dårlig" i undersøkelsen vil lokaliteten bli tett overvåket og det forventes tiltak for å bedre tilstanden til neste måling. Noen fjordområder med lav bunnvannutskiftning er mer utsatte for lav oksygenkonsentrasjon på havbunnen og er mer sårbare for negative effekter for utslipp av organiske stoffer. Produksjonsområde 4 har flere områder med lav bunnvannutskiftning der flere miljøundersøkelser viser "meget dårlig" eller "dårlig" tilstand. Slik påvirkning kan reduseres enten ved at partiklene spres eller ved at slam samles opp.

Villfisk kan trekkes mot oppdrettsanlegg og spise fôrspill fra oppdrettet. Både sei, torsk, hyse, makrell og rømt oppdrettsfisk har spist oppdrettsfôr (Uglem et al., 2020). Villfisk kan oppholde seg mindre enn 25 meter fra oppdrettsanlegg, der det er god tilgang på fôrspill (Dempster et al., 2010).

Laksefôr inneholder også tungmetallforbindelser som kobber, sink, kvikksølv, arsen og kadmium, halogenerte organiske forbindelser som PCB, furaner, klorerte pesticider og bromerte flammehemmere (Grefsrud et al., 2024). Disse stoffene kan tilsettes i fôret for å sikre god tilvekst, og kobber og sink regnes som mineraler i fôret. Foreløpig er kun kobber inkludert i Havforskningsinstituttets risikovurdering, men det er planlagt at flere stoffer inkluderes i neste års rapport. Kobber kan være giftig og utslipp kan føre til redusert arts mangfold dersom konsentrasjonen i et område overstiger artenes tålegrense. I sediment er miljøkvalitetsmålet satt til 84 mg/kg. Er konsentrasjonen lavere enn dette antas det at det ikke har en giftig effekt på marine organismer. For kobber løst i vann er miljøkvalitetsnivået 2,6 µg/l. Det er langt mindre utslipp av kobber fra fôrspill og fekalier enn kobberutslipp fra antibegroingsmidler.

Redusert fôrspill vil kunne ha en positiv effekt på reduksjon av partikulært avfall og utslipp av næringsalter. På tvers av produksjonsformer kan også fôrsammensetningen spille inn på hvor mye næringsalter som slippes ut, både på mengde nitrogen og fosfor i fôret, og biotilgjengeligheten av disse næringsaltene. Det er antatt at det å flytte anlegg lenger ut i åpent hav, der det er dypere og mer strøm, vil redusere påvirkningen fra utslipp sammenlignet med lokaliteter nærmere kysten der det også er andre kilder til utslipp samt lavere strømhastighet og dermed mindre spredning av utslipp (Gentry et al., 2017). Dermed er det rimelig å anta at miljøet kan tåle en høyere tetthet i produksjon lenger ut til havs enn ved mer skjermede lokaliteter, basert på utslipp av partikulære stoffer og næringsalter. Produksjonsvolum og tetthet må uansett hensynta bakgrunnsnivåer av næringsalter, vanndybde, strømhastighet og fôringspraksiser.

Landbaserte og sjøbaserte anlegg med mulighet for slamoppsamling kan ha en direkte positiv effekt på miljøet samtidig som videre bruk av slam på sikt kan bidra inn i sirkulærøkonomisk verdiskaping. For anlegg i sjø finnes det muligheter for slamoppsamling både for lukkede, semi-lukkede, nedsenkbare og tradisjonelle anlegg. Det er derimot ikke noe lovfestet krav for oppsamling for anlegg i sjø, men i noen områder med lav vannutskiftning kan det pålegges oppdrettere å gjøre dette. Slamoppsamling åpner også opp for å drive oppdrett i områder som er mer sårbare for tradisjonelt oppdrett. Regelverket for rensegrad av slam ved landbaserte anlegg fastslår en minimums rensegrad på 50 % av suspendert stoff og 20 % av BOF₅ (biologisk oksygenforbruk) (Lovdata, 2007). Mengden oppsamlet slam varierer mellom RAS-anlegg og gjennomstrømningsanlegg, og mellom eldre og nyere anlegg (Lomnes et al., 2019). Det er også antatt at lukkede anlegg i sjø kan samle opp om lag 50 % partikulært utslipp, basert på innspill fra en informant i industrien.

3.6.2 Utslipp av groe

Uglem et al. (2020) har i FHF prosjektet "Kunnskaps- og erfaringskartlegging om effekter av og muligheter for utnyttelse av utslipp av organisk materiale og næringsalter fra havbruk"⁶ (FHF #901572) sett på effekter

⁶ <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901572/>

av utslipp av groe. Begroing skjer på alle typer strukturer på et oppdrettsanlegg som er under vann, både nøter, fortøyning, og redskaper og instrumenter (Bloecher et al., 2015). På harde overflater er det først og fremst rur og andre kalsifiserte organismer som vokser mens på nøter er det begroing av alger, hydroider, muslinger, sekker dyr og mosdyr (Bloecher et al., 2013; Bannister et al., 2019).

Siden groe på nøter reduserer gjennomstrømming av vann, samt at det fungerer som reservoar for patogener (Bannister et al., 2019) så ønsker oppdrettere å hindre og fjerne groe, spesielt på nøtene. Dette gjøres ved bruk av antibegroingsmidler som kobberimpregnering eller andre typer impregnering, og ved jevnlig vasking av nøtene (fra 1-2 ganger per produksjonssyklus opptil ukentlig vask) (Bloecher et al., 2015; Bannister et al., 2019). Mengden begroing varierer med geografisk beliggenhet, strøm, lys, sesong og strategi for groehåndtering. Ifølge Uglem et al. (2020) er det mindre groe i Nord-Norge på grunn av kaldere sjøtemperaturer og mindre groe på mer eksponerte lokaliteter enn på mer skjermede lokaliteter, som f.eks. i fjorder. Det er generelt mest groe i september/oktober (Bloecher et al., 2013) da temperaturen i sjøen er høyest. Notmaterial og impregnering påvirker også hvor mye groe som vokser, i tillegg til vaskefrekvens. Uglem et al. (2020) estimerer at det kan vokse opp til 18 tonn groe i våtvekt i løpet av et år på en merd med en omkrets på 157 meter, dybde på 35 meter og bunnring på 18 meter, basert på grunnlag fra Bloecher et al. (2013).

Utslipp av groe kan føre til spredning av fremmede arter, det kan sedimentere på bunnen, og det kan ha en negativ effekt på huden og gjellehelsen til oppdrettsfisken og villfisk i området rundt (Uglem et al., 2020). Begroing kan også fungere som et reservoar for patogener, som blant annet kan utløse amøbegjellesykdom (fra *Paramoeba perurans*) eller vibriose (fra *Vibrio anguillarum*) hos fisk. Det er ikke nok data tilgjengelig for å kunne vurdere risikoen for denne effekten. Fremmede arter kan også oppholde seg i begroing, og gunstige forhold kan føre til en økning og spredning av fremmede arter (Mineur et al., 2012; Simkanin et al., 2012; Woods et al., 2012). Groe som sedimenterer under oppdrettsanlegg kan føre til økt antall predatorer som sjøstjerner under anleggene og endre sammensetningen av den naturlige lokale bunnfaunaen (Inglis and Gust, 2003). Det er mindre begroing ved nedsenkbare anlegg ettersom det vokser mest groe i de øvre vannlagene (Guenther et al., 2010; Sievers et al., 2021)

3.6.3 Antibegroingsmidler

Kobber var tidligere et vanlig stoff i groehemmende middel på oppdrettsnøter (Grefsrud et al., 2024). De siste årene har bruken blitt redusert og i 2022 ble det brukt 440 tonn kobber, noe som tilsvarer en nedgang på 74 % siden toppåret 2019 da det ble brukt 1 698 tonn. Flere oppdrettere har nå gått over til å bruke andre antibegroingsmidler som tralopyril, sinkpyrithion og kobberpyrithion. Forbruket av tralopyril økte med 86 % fra 2019 til 2022 – fra 53 tonn til 98 tonn. Bruken av sinkpyrithion og kobberpyrithion var på henholdsvis 10 og 5 tonn i 2022, uten noen betydelig økning fra 2019. Disse stoffene har ikke vært inkludert i risikovurderingen til Havforskningsinstituttet, men ettersom omfanget øker planlegges det å inkludere dem i neste års rapport. Selv om kunnskapen er mangelfull regnes Tralopyril som et farlig stoff i EU direktiv 67/548/EEC. Tralopyril har en halveringstid i sjø på 9 timer og et av endestoffene, trifluoracetat, blir ikke brutt videre ned. Tralopyril kan også bioakkumuleres hos blåskjell og spres videre i næringskjeden. Sinkpyrithion og kobberpyrithion er også svært giftige for flere marine arter.

En moderat andel oppdrettsanlegg i produksjonsområde 2, 3 og 4 har fått vurdert miljøtilstanden til å være dårlig grunnet kobbernivå (Grefsrud et al., 2024). Utslipp av kobber kan redusere artsmangfoldet. Mengde kobber måles i C-undersøkelser. Havforskningsinstituttet etterspør mer informasjon og rapportering om bruk av antibegroingsmidler og spyling av nøter for å redusere usikkerhet i effekter av bruk av disse midlene på naturmangfoldet. Vasking og høytrykksspyling av kobberimpregnerte nøter medfører utslipp av kobberpartikler. Fra forsøk er det vist at ca. 28 % av kobberinnholdet kan lekke ut over levetiden uten spyling. Ved spyling kan 20 % av kobbermengden slippes ut ved førstegangsspyling (Grefsrud et al., 2024).

Kobberutslipp kan både synke og sedimentere som partikler eller slippes ut som kobberioner i vannsøylen, men fordelingen er ukjent. Fra overvåkningsstasjoner i fjorder i Vestland har det vært en signifikant økning i kobbernivået på 4 av 13 stasjoner i perioden 2018-2022. Trange fjorder med dårlig vannutveksling er ekstra utsatt for kobberutslipp og bidraget kan i perioder være oppe i 1 µg/l bare ved passiv utslipp uten spyling. I Vestland i 2012 ble det målt konsentrasjoner på < 0,5 til 1,9 µg/l. Miljøkvalitetsgrensen er 2,6 µg/l.

Noen oppdrettsanlegg bruker ikke antibegroingsmidler, men har nøter med kobbertråd i eller kobber smeltet inn i nøtene (Jensen, 2023). Ifølge Garware, som produserer en notvariant i High Density Poly Ethylen (HDPE) med kobber i fiberen, har denne typen not mindre negativ påvirkning på miljøet ettersom metallisk kobber er mindre giftig enn kobberoksid og ved å integrere kobberet i HDPE-fiberne vil kobberet ikke kunne falle av. Denne typen nøter brukes blant annet på det eksponerte anlegget Havfarmen (Jensen, 2019).

Det brukes også antibegroingsmidler og maling som inneholder biocider på rigide konstruksjoner (Guardiola et al., 2012). Dette brukes blant annet på utsiden av lukkede anlegg eller på konstruksjonen til semi-lukkede og offshore anlegg. Det er usikkert hvor mye som slippes ut fra faste konstruksjoner sammenlignet med utslipp av antibegroingsmidler fra vasking av nøter.

3.6.4 Plast

Makroplast er plastartikler større enn 5mm. Dyr kan spise makroplast eller sette seg fast i den. Prosjektet HAVPLAST⁷ (FHF #901518) har kartlagt utslipp av makroplast fra havbruk og fiskeri. Utslipp av makroplast fra havbruk består i hovedsak av tau og avkapp av tau (Johnsen et al., 2019).

Mikroplast er plastpartikler mindre enn 5 mm. Fra oppdrettsanlegg i sjø kan det slippes ut mikroplast fra komponenter som nett, tau og fôrslanger. Et pågående FHF-finansiert prosjekt SMARTER⁸ (FHF #901820) undersøker mengden mikroplast fra tau og nøter fra sjøbaserte anlegg. Utslipp fra nøter skjer i stor grad grunnet vasking av nøter for å fjerne begroing. Det er spesielt toppen, bunnen og sidene av nøtene rundt tauene som holder strukturen som er utsatt for slitasje fra mikroplast. Noen typer antibegroingsmiddel kan også utgjøre en kilde for mikroplastutslipp.

Fleire prosjektet har undersøkt mikroplast fra fôrslanger, f.eks. TRACKPLAST⁹ (FHF #901519) og MicroRED¹⁰ (FHF #901658). TRACKPLAST fant at det var et teoretisk utslipp av mikroplast på mellom 150 og 569 kg per lokalitet. Utslipp fra fôrslanger utgjør dermed potensielt mellom 120 til 455 tonn per år, hvis man regner med at det er om lag 800 akvakulturlokaliteter i Norge. MicroRED undersøkte erosjon av fôrslanger fra transport av fôrpellets ved ulike hastigheter. Det er mindre slitasje og utslipp av mikroplast ved vannbåren fôring, som brukes for nedsenkbare anlegg, enn for luftbåren fôring som brukes i de fleste tradisjonelle anlegg. Det kan også slippes ut mikroplast fra bunn- og flyteringer. Et annet FHF-finansiert prosjekt, REMIRA¹¹ (#901829) kartlegger utslipp fra mikroplast i RAS anlegg, der det er forventet at biofilteret kan slippe ut mikroplast og plastmyknere.

3.7 Fiskevelferd

Fiskevelferd er en av de største utfordringene til dagens oppdrett av laksefisk i Norge. I 2023 kom riksrevisjonen med hard kritikk mot norske oppdrettere ettersom fiskevelferden ikke er god nok etter

⁷ <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901518/>

⁸ <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901820/>

⁹ <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901519/>

¹⁰ <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901658/>

¹¹ <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901829/>

gjeldende lovgivning (Riksrevisjonen, 2023). Dårlig fiskevelferd utgjør både en høy kostnad for oppdrettere og bidrar til å skade omdømmet til næringen. Konklusjonen fra Riksrevisjonen var at problemer med sykdom og høy dødelighet fører til store økonomiske tap for næringen. Myndigheter som Mattilsynet, Fiskeridirektoratet og Nærings- og Fiskeridepartementet fikk også sterk kritikk for manglende oppfølging og tiltak for å bedre fiskevelferden i havbruksnæringen. Ifølge Veterinærinstituttet er kostnader knyttet til sykdommer sammenlignbare med fôrkostnadene (Sommerset et al., 2023). På ti år har den biologiske kostnaden knyttet til sykdommer doblet seg (Sommerset et al., 2023).

Dyrevelferd reguleres av dyrevelferdsloven som sier at "*dyr skal behandles godt og beskyttes mot fare for unødige påkjenninger og belastninger*" (Lovdata, 2009). Det er flere årsaker som bidrar til at dyrevelferden ikke er god nok. Dette er for eksempel sykdommer som ILA, PD, angrep fra dyr som perlesnormaneter, og lusebehandling. Dødelighet er ifølge Havforskningsinstituttet en upresis indikator på fiskevelferd, men likevel kan det antas at høy dødelighet er en konsekvens av dårlig fiskevelferd (Grefsrud et al., 2024). Oppdrettere har selv ansvar for at ny teknologi og nye oppdrettsformer møter krav til fiskevelferd. Mye teknologi og utvikling har fokusert på å takle luseproblematikken, men har hatt negative konsekvenser for fiskevelferden. Riksrevisjonen trekker frem ikke-medikamentell behandling av lakselus som et eksempel. De nevner også at det er vanskeligere å endre en praksis når den har blitt utbredt i næringen, som for eksempel utsett av fisk gjennom hele året eller bruk av post-smolt (Riksrevisjonen, 2023). Dermed er det viktig å kartlegge effekter og myndighetene må iverksette tiltak før uheldig praksis får fotfeste i industrien.

Ifølge *Fiskehelse rapporten 2023* er de vanligste velferdsproblemene for oppdrettslaks mekanisk håndtering eller ikke-medikamentell behandling mot lakselus, i tillegg til gjellesykdommer og vintersår (*M. viscosa*) (Sommerset et al., 2024). Havforskningsinstituttet gir årlig ut *Risik rapport for norsk fiskeoppdrett*, som tar for seg risikoer knyttet til fiskevelferd og påvirkning på miljø og natur fra fiskeoppdrett. Rapporten fra 2024 viser at produksjonsområdene 2 til 5 på Vestlandet har de største utfordringene knyttet til dyrevelferd og miljømessig bærekraft. De har høyest dødelighet og har størst utfordringer med lakselus (Grefsrud et al., 2024).

Browning (2023) fremhever behovet for velferdsvurderingsordninger av høy kvalitet i akvakultur. Det brukes flere ulike definisjoner på dyrevelferd – biologisk funksjon (fysisk helse og kondisjon), naturlig levemåte (utførelse av naturlig atferd), preferanser (å ha det dyret vil ha) og affektiv tilstand (dyrets følelser eller subjektive opplevelse). Artikkelen anbefaler at et godt velferdsvurderingsverktøy bør vurdere fullstendighet, gyldighet, gjennomførbarhet og å sette rimelige terskler for akseptabel velferd.

Foreløpig er det få studier som evaluerer muligheten for å integrere dyrevelferd i bærekraftsvurderinger som LCA. Mindre enn 1 % av LCA-er for animalske produkter inkluderer dyrevelferd på grunn av mangel på kompatible beregninger (Bartlett et al., 2023). Lanzoni et al. (2023) diskuterer utfordringen med å integrere dyrevelferdsindikatorer i LCA for en omfattende bærekraftsvurdering av dyreproduksjon og konkluderer med at det ikke er noen konsensus om metoden for å vurdere dyrevelferd. Av alle studiene som ble gjennomgått kombinerte bare 24 av 1 460 studier dyrevelferdsevaluering med LCA.

Bartlett et al. (2023) diskuterer hvordan man kan kombinere ulike aspekter ved dyrevelferd (som helse kontra atferd) til én enkelt kvantitativ poengsum og hvilke kriterier som bør bestemme god kontra dårlig velferd – noe som også er en barriere for å lage disse beregningene. Artikkelen utvikler en tilnærming til en velferdsvurdering som i prinsippet er forenlig med LCA-tilnærmingen.

Scherer et al. (2018) foreslår et rammeverk for å integrere dyrevelferd i livssyklusens bærekraftsvurdering. Dyrevelferd vurderes under produksjon og under slaktning. Studien foreslår tre alternative dyrevelferdsindikatorer: dyrelivsår led (ALYS), tap av dyreliv (AL) og tap av moralsk justerte dyreliv (MAL).

Indikatorerne er forskjellige i hvordan de verdsetter for tidlig død og alle tre vurderer (1) livskvaliteten til et dyr som plasstillegg, (2) slaktealderen enten som levetid eller livsbrøk, og (3) antall dyr som er berørt for å produsere en produktenhet. En av indikatorerne tar i tillegg hensyn til en moralsk verdi som angir deres intelligens og selvbevissthet. Rammeverket gir mulighet for sammenligninger på tvers av studier og produkter og for applikasjoner i store romlige skalaer. For å illustrere rammeverket ble åtte produkter analysert og sammenlignet: storfekjøtt, svinekjøtt, fjærfe, melk, egg, laks, reker og, som en ny proteinkilde, insekter.

3.7.1 Påvirkning fra eksternt miljø – bølger, vind og strøm

Oppdrett på mer eksponerte lokaliteter kan være utfordrende for fiskevelferden. I *Fiskehelse rapporten 2022* konstateres det at oppdrett på eksponerte lokaliteter kan forlenge responstiden ved for eksempel et sykdomsutbrudd til fisken blir slaktet (Sommerset et al., 2023). En konsekvens av dette er at fisken kan oppleve større lidelser. Syk eller svak fisk vil muligens ikke tåle strømstyrken og kan trykkes mot notveggen på spesielt strømutsatte lokaliteter.

Watson et al. (2022) peker på at det mangler en definisjon av hva offshore havbruk er. I en gjennomgang av 119 artikler, varierer definisjonene fra "avstand til kysten", "dybde på havbunnen" eller "eksponering mot bølger". I studien ble det også gjennomført en spørreundersøkelse av interessenter i oppdrettsnæringen. I litteraturen var "avstand" og "dybde" mer vanlige kriterier enn "eksponering", mens en spørreundersøkelse til industrien avdekket "eksponering" og "bølger" som det dominerende svaret. I rapporten *Havbruk til havs* refereres det til havbruk lengre ute enn det som er vanlig i dagens akvakulturvirksomhet, som i hovedsak skjer innaskjærs, mens havbruk til havs vil skje utaskjærs, minimum 20-30 nautiske mil utenfor grunnlinjen (se Figur 3) (Regjeringen, 2018).

Resultatene fra spørreundersøkelsen gjennomført av Watson et al. (2022) viser at majoriteten av interessentene mener at produksjon i offshore anlegg vil være like bra eller bedre enn oppdrett i tradisjonelle anlegg innaskjærs. For miljømessig bærekraft mente alle interessentene at det ville være like bra eller bedre. Likevel mente mange at det foreløpig ikke er nok kunnskap til å vurdere miljømessig påvirkning på offshore lokaliteter. Informantene intervjuet av Misund og Thorvaldsen (2022) påpeker at havbruk til havs byr på flere fordeler for økt fiskevelferd. Under Golfstrømmen vil det både være bedre vannutskiftning og temperatur som kan redusere produksjonstiden til sjøs, dersom man benytter de best egnede lokalitetene og har en robust fisk som takler forholdene. I havbruk til havs er det forventet å være mer utbredt med bruk av post-smolt med vekt opp til 1 500 gram. Hvas et al. (2021) konkluderer med at laksen har gode forutsetninger for å takle oppdrett på eksponerte lokaliteter. Det er likevel behov for mer kunnskap om laksevelferd ved havbruk til havs (Føre et al., 2022).

I lukkede anlegg til sjøs kan "sloshing" i produksjonsenheten, grunnet belastning fra strøm og bølger, føre til redusert dyrevelferd (Aarhus et al., 2011). For å unngå dette bør lukkede produksjonsenheter plasseres på lokaliteter som er mer skjermet for vær og vind. Skjermede lokaliteter kan være oksygenfattige og det kan være behov for tilførsel av oksygen.

Anlegg som er permanent eller midlertidig nedsenkbar er mindre utsatt for høye bølger og storm, som først og fremst påvirker det øvre laget i havet (Sievers et al., 2021; Moe Føre et al., 2022; Warren-Myers et al., 2022). Andre tiltak for å bedre fiskevelferden er styring av vannmiljø med for eksempel behandling og rensing av vannet, temperaturkontroll, tilførsel av oksygen (Moe Føre et al., 2022). Overvåkning av fisken og mer skånsomme operasjoner kan også forbedre fiskevelferden. Et eksempel på dette er konseptet iFarm¹².

¹² <https://www.cermaq.no/ifarm>

Laks er en fisk med lukket svømmeblære, som den fyller med luft ved vannoverflaten (Sievers et al., 2021; Warren-Myers et al., 2022). I nedsenkbare anlegg er ikke dette mulig og dette har vært en utfordring for fiskevelferden i disse anleggene. Luftkupler under vann der fisken kan svømme inn er en lovende løsning som kan bøte på denne utfordringen, som undersøkt i en studie av Warren-Myers et al. (2022). Det viste seg dog at slaktevekten på fisken var nesten halvparten så lav som laks produsert i tradisjonelle anlegg og at dødeligheten var 2,5 ganger høyere. Årsakene til dette kan være dårligere miljøforhold i dypere vannmasser for laksen som kaldere temperaturer i sjøen og lavere oksygenivåer.

3.7.2 Påvirkning fra andre arter

Angrep fra perlesnormanet (*Apolectia uvaria*) ga økt dødelighet høsten 2023. I 2019 forårsaket giftig algeoppblomstring at rundt 8 millioner oppdrettslaks døde i Nordland og Troms (produksjonsområde 9 og 10) (Sommerset et al., 2020). Ved økte sjøtemperaturer som følge av klimaendringer er det sannsynlig at det vil kunne bli flere tilfeller av algeoppblomstringer, parasitter, begroing og maneter (Falconer et al., 2022). Laksen er mer beskyttet i nedsenkbare anlegg mot parasitter og algeoppblomstringer som skjer i øvre vannlag (Sievers et al., 2021). Tilsvarende er den også mer beskyttet i semilukkede og lukkede anlegg som har en barriere mellom fisken og vannet rundt (Moe Førre et al., 2022).

3.7.3 Sykdom og smitte

Laksefisk i oppdrett er utsatt for mange sykdommer forårsaket av virus, bakterier, parasitter og sopp (Sommerset et al., 2023). De vanligste sykdommene er salmonid alphavirus (SAV), infeksiøst pankreasnekrosevirus (IPNV), infeksiøst lakseanemivirus (ILAV), piscint alphavirus (PRV) og piscint myocardittvirus (PMCV) (Grefsrud et al., 2024). Til sammen forårsaker virusene 400 - 500 utbrudd av sykdom hvert år. Noen av disse sykdommene kan smitte mellom ulike anlegg som ligger nærme hverandre eller ved båttransport mellom anlegg (Riksrevisjonen, 2023). Sykdommer kan også spres til villaks og annen villfisk. Sykdom og sykdomsspredning utgjør derfor en risiko for velferden til oppdrettsfisken samt en negativ påvirkning på villfisk, og er noe som kan føre til økt dødelighet.

De vanligste meldepliktige sykdommene for norsk oppdrettslaks er Pankreassykdom (PD) og Infeksiøs lakseanemi (ILA). Begge sykdommene er smittbare og oppdrettere må melde inn forekomster av sykdommene ILA og PD til myndighetene (Lovdata, 2022). Havforskningsinstituttets risikovurdering inkluderer kun PD og ILA (eller SAV og ILAV), men ønsker også å inkludere flere sykdommer og virus i fremtidige rapporter (Grefsrud et al., 2024). PD forårsakes av Salmonid alfavirus (SAV) og utbredelsen av viruset er først og fremst begrenset til Vestlandet og Midt-Norge, og berører produksjonsområde 2-7, kjent som PD-sonen. Det er et mål at sykdommen ikke skal spres lenger nord. I de rammede områdene står fisken i merden fram til den er slakteklar, men dyrevelferden er redusert hos rammet fisk og dødeligheten er økt. Anlegg med påvist PD utenfor PD-sonen må som regel slakte ut all fisken for å hindre videre spredning. Det ble påvist SAV på fire lokaliteter i produksjonsområde 8 i 2023, som er nord for PD-sonen. Fisken som tilhørte 2022 generasjonen ble uslaktet, mens fisken fra 2023-generasjonen ble destruert. I 2023 ble det påvist ILA på 18 lokaliteter og mistanke om ILA på ytterligere fem lokaliteter til (Sommerset et al., 2023). Dersom det blir påvist ILA på et anlegg blir fisken vanligvis slaktet innen halvannen måned (Riksrevisjonen, 2023).

Av ikke-meldepliktige sykdommer har Veterinærinstituttet mottatt data fra private laboratorium for å kunne beskrive omfanget av disse (Sommerset et al., 2024). Av disse er kardiomyopatissyndrom (CMS) og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) de vanligst forekommende sykdommene. Dersom fisken har hatt disse kan det føre til økt dødelighet etter lusebehandling. Det var også en økning i bakteriell nyresyke i 2023, med flest utbrudd i produksjonsområde 6 (Sommerset et al., 2024). Antageligvis er smitten gått via brønnbåter og transport, og bakterien kan også smitte via infisert rogn. Vintersår er en økende utfordring og forårsakes av bakterien *Moritella viscosa*. Det var 320 tilfeller i 2023, noe som var en økning fra 296 i 2022 (Sommerset

et al., 2024). Flere oppdrettere har nå begynt å vaksinere mot *M. viscosa*. Kaldere temperaturer i vannet øker faren for vintersår.

Havforskningsinstituttet vurderer forekomst av smitte av ILA and PD hos villfisk som en konsekvens av at smitte har spredd seg fra oppdrettsfisk (Grefsrud et al., 2024). Risikoen vurderes lav for smitte av ILA, men det er et komplekst bilde der det er vanskelig å si noe om fremtidig utvikling. Det vurderes at områdene med flest utbrudd nå vil få flere utbrudd fremover. For PD vurderes det at risikoen for smitte av Salmonid alfavirus (som forårsaker PD) av villfisk er lav i produksjonsområdene 1, 2, 5, 7 og 8, og moderat i produksjonsområdene 3 og 4. I produksjonsområde 6 vurderes risikoen som høy. Kunnskapen og datagrunnlaget bak forekomst av ILA og PD hos villfisk regnes som svak og er basert på hyppigheten av rapporterte sykdomsutbrudd, rapporterte rømninger og kunnskap om overvåking og kartlegging av virus i vill fisk og rømt oppdrettsfisk.

De vanligste tiltakene for å forebygge og redusere sykdom og smitte er å etablere branngater, brakklegging av anlegg, vasking og desinfisering av anlegg og fartøy, utslakting av smittet fisk, avl og vaksinering av fisk. Det er krav om minimum to måneders brakklegging for anlegg i sjø. Ved smittefare kan et eller flere anlegg pålegges flere måneders brakklegging. Avstanden mellom anlegg og antall fisk i anlegget påvirker risiko for smitte til et annet anlegg. Utslakting ved smitte og koordinert brakklegging har vist effekter for smittereduksjon (Sommerset et al., 2024). Båttransport fra et anlegg til et annet utgjør risiko for spredning av sykdommer som PD (Stene et al., 2014). For å redusere smitterisiko ved transport gjelder karantene for brønnbåter som har vært i PD-sonen og skal utenfor PD-sonen, i tillegg til generell vasking og desinfisering av fartøy som går mellom anlegg (Sommerset et al., 2024). Det har vært en økning de siste årene i vaksinering mot ILA, PD, IPN, yersiniose, pasteurellose og vintersår (*M. viscosa*).

Landbaserte anlegg pumper vann inn i anlegget. RAS-anlegg kan resirkulere 90-99 % mens hybride systemer resirkulerer opp mot 65 % av vannet (Misund and Thorvaldsen, 2022). Gjennomstrømningsanlegg har ingen resirkulering. Inntaksvannet filtreres og renses. Desinfisering av vannet kan ha negative effekter for fiskevelferden ved at nyttig bakterieflora også fjernes under rensingen (Misund and Thorvaldsen, 2022). Vintersår kan oppstå når vannet har en kaldere temperatur enn 7 grader. Informantene intervjuet av Misund og Thorvaldsen oppgir også at det er viktig med tilstrekkelig vannstrømning i tankene for å unngå dødsoner. Dette er vannsoner med lite eller intet oksygen, noe som kan oppstå i overgang mellom rør, ventiler og filter som følge av endringer i vannets hastighet. Dersom det da er fôrrester eller slam i dødsonene kan dette bli brutt ned og føre til dannelse av hydrogensulfid (H_2S) som er giftig for fisken.

I RAS anlegg kan det være en risiko for at sykdommer går i "loop" i anlegget, ved at de blir med vannet som resirkuleres (Sommerset et al., 2024). Siden oppdrettere er avhengige av en spesifikk sammensetning i biofilteret som renses vannet og denitrifiserer ammoniakk før det pumpes inn igjen til fisken så er det ikke alle oppdrettere som ønsker å skifte ut biofilteret slik at det blir en fullstendig brakklegging mellom hver produksjon. Tidligere var det ansett som en fordel ved landbaserte anlegg at de hadde redusert smitterisiko, men det har senere blitt vist at smitte også kan spres til nærliggende anlegg i sjø. Derfor er det også viktig at avløpsvannet til landbaserte anlegg renses ettersom dette kan utgjøre en smitterisiko. De viktigste smitteveiene inn til et landbasert anlegg går vi inntaksvannet og rogn eller fisk (Sommerset et al., 2024).

I lukkede anlegg kan det være utfordrende med sår, gjellesykdommer og vannkvalitet. Dersom kaldt vann pumpes inn fra dypet i et lukket anlegg for å unngå lakselus kan det bidra til sår dannelse for fisken. I likhet med landbaserte anlegg gjelder dette temperaturer kaldere enn 7 grader. Nilsen et al. (2020) fant at hovedårsaken til dødelighet i lukkede anlegg var bakterieinfeksjoner. Det var likevel mulig å opprettholde god vannstrømning, oksygennivå og vannkvalitet i det lukkede anlegget.

Ved bruk av offshore anlegg med lengre distanse til andre anlegg kan det være redusert risiko for smittespredning (Gentry et al., 2017). I tillegg til geografisk avstand er det viktig å hensynta hvordan anlegg er knyttet til hverandre med strømmereining og hastigheter for å vurdere hvordan sykdommer og parasitter kan spres. Havbruk til havs vil kunne etablere seg lenger unna eksisterende oppdrettslokalteter, noe som er oppfattet som positivt for biosikkerheten (Misund and Thorvaldsen, 2022). I en rapport som simulerer smittespredning ved Havbruk til havs fant Havforskningsinstituttet at smitte vil være avhengig av strømmereining og ved beliggenhet ut mot 20 nautiske mil fra kysten i nord og 30 nautiske mil fra kysten i sør så anbefales det at anleggene forvaltes i sammenheng med forhold langs kysten og i fjordene (Ådlandsvik, 2019). Dersom beliggenheten er lengre ute 60 nautiske mil utenfor grunnlinjen vil de ikke kunne påvirke kysten i noen nevneverdig grad.

3.8 Dødelighet

I snitt dør mellom 15 og 18 % av laksefisk i sjøfasen i løpet av en produksjonssyklus (Riksrevisjonen, 2023; Sommerset et al., 2023). I Havforskningsinstituttets *Risikorapport for norsk oppdrett i 2024* var gjennomsnittlig dødelighet for fisk satt ut i 2019 til 2022 15 - 16 % mens dødeligheten på Vestlandet i produksjonsområdene 2, 3 og 4 var oppe i 23 - 27 % (Grefsrud et al., 2024). Det antas at årsakene til dette er mer sykdomsproblematikk og et høyere nivå av lakselus, samt at oppdrettsfisken ikke har tålt avlusning like godt som lenger nord i landet. Dødelighet kan være en konsekvens av lang tid med lidelse, akutt eller en kombinasjon av svak fisk som dør av stressende håndtering (Grefsrud et al., 2024). Økt dødelighet er også negativt økonomisk for oppdrettere ettersom det medfører tapte innsatsfaktorer som fôr, medisiner og energi. Høyere dødelighet fører også til økt miljøfotavtrykk per kg fisk som er slaktet. Dette medfører større økonomisk tap og miljøpåvirkning dess senere i produksjonssyklusen fisken dør.

Dødelighet rapporteres månedlig til Fiskeridirektoratet. Rapporteringen deles inn i kategoriene "dødfisk", "utkast", "rømming" og "annet". "Dødfisk" er fisk som dør under produksjon, "utkast" er fisk som sorteres ut ved slakt, og "annet" dekker fisk som ikke faller inn under de andre kategoriene (Sommerset et al., 2023). I tidligere versjoner av *Fiskehelse rapporten* har det ikke blitt gitt årsaker til dødelighet hos laksefisk, men det oppgis at NMBU har utviklet et klassifiseringssystem for årsaker til dødelighet som inkluderes i Norsk Standard NS9417:2022. I tillegg samarbeider Veterinærinstituttet med Sjømat Norge og AquaCloud om en løsning for digital rapportering av dødsårsaker i sjøanlegg. I siste versjon av *Fiskehelse rapporten*, lansert 12. mars 2024, er systemet på plass. I 2023 var det rekordhøy dødelighet i norsk lakseoppdrett med 62,8 millioner døde laks, tilsvarende 16,7 % dødelighet (Sommerset et al., 2024). For en hel produksjonssyklus fullført i 2023 var median dødelighet på 18,8 %. For første gang har dødeligheten blitt klassifisert i seks ulike kategorier: "infeksjonssykdommer", "skader (traumer)", "fysiologiske årsaker", "miljøforhold", "andre årsaker" og "ukjent årsak". Under "infeksjonssykdommer" er de fem vanligste underkategoriene vintersår, kardiomyopatisyndrom (CMS), gjellesykdom, hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og pasteurellose.

Totalt har 355 lokaliteter bidratt med rapportering, noe som gir en dekningsgrad på 43 % av alle anleggene i Norge. Basert på undersøkelsen døde 38 % av "Infeksjonssykdommer", 33 % av "Skader (traume)", 20 % av "Ukjent årsak", 4,5 % av "Fysiologiske årsaker", 2,9 % av "Miljøforhold" og 2,0 % av "Andre årsaker" (Sommerset et al., 2024). Angrep fra perlesnormanet (*Apoletmia uvaria*) var også identifisert som en årsak til dødelighet høsten 2023 og er inkludert i kategorien "Miljøforhold". Det var produksjonsområdene 2-3 og 10-12 som ble hardest rammet av manetangrep, men det var stor variasjon mellom anleggene der andel dødelighet grunnet manetangrep var på opptil 10 %. Havforskningsinstituttet regner med at omkring 3 millioner fisk av den økte dødeligheten i 2023 stammer fra angrep av perlesnormanet (Grefsrud et al., 2024).

Det er rimelig å anta at rapportert dødelighet er lavere enn den reelle situasjonen ettersom oppdrettere kan slakte ut fisken ved sykdomsutbrudd eller ved redusert fiskevelferd. Dette fanges da ikke opp i dødelighetsstatistikken, men kan føre til at et økt antall fisk ikke kan selges direkte til humant konsum (Lovdata, 2013).

Fisk med sår, misdannelser eller indre kvalitetsfeil kan likevel omsettes innenlands til produksjon av fiskemel, fiskeprotein-hydrolysat, fiskeolje, tran og andre marine ingredienser til humant konsum. Dette regnes som produksjonsfisk. I uke 4 i 2024 var det rekord på mengde fisk som ble nedklassert til produksjonsfisk med 37 % av all slaktet fisk den aktuelle uken (Jensen, 2024). For seks år siden, var mengden produksjonsfisk under 20 % (Furuset, 2024).

Foreløpig er det offentlige datagrunnlaget for å vurdere dødelighet mellom ulike produksjonsformer mangelfullt. I en studie av Nilsen et al. (2020) ble vekst og dødelighet av post-smolt i lukkede anlegg til sjøs undersøkt. Forfatterne fant at dødeligheten var lavere enn i tradisjonelle anlegg, basert på gjennomsnittlige verdier. Bakterieinfeksjoner og syk smolt var hovedårsakene til dødeligheten. Selskapet Akvafuture som driver oppdrett av matfisk i lukkede merder hadde i 2022 en dødelighet på 3,4 % (Berge, 2023). Den lave dødeligheten forklares av at systemet har en barriere som skjerner fisken fra lakselus og andre parasitter, maneter, bakterier, virus og alger (Myrholt, 2024). Uten lakselus er det heller ikke behov for lusebehandling, noe som er en av hovedutfordringene for redusert fiskevelferd i næringen.

I det landbaserte gjennomstrømningsanlegget til Salmon Evolution var det i fjor først rapportert en akkumulert dødelighet på 1,2 %, men som senere steg til 7,9 % etter at det ble påvist amøbe i vannet som forårsaket amøbegjellesykdom (AGD) (Furuset and Njåstad, 2022).

I en studie av nedsenkbare anlegg av Warren-Myers et al. (2022), ble det funnet at dødeligheten var 2,5 ganger høyere i et nedsenkbart anlegg sammenlignet med lask produsert i tradisjonelle anlegg. Snittvekten på slaktefisken var også lavere med 2,8 kg for nedsenkbart, mot 5 kg i tradisjonelle anlegg. Dårligere miljøforhold som kaldere temperatur og lavere oksygennivå ble pekt på som mulige forklaring for dårligere vekst og høyere dødelighet.

Basert på innspill fra industrien forventes det lavere dødelighet i lukkede og semi-lukkede anlegg, grunnet blant annet redusert behov for behandling mot lakselus. Dette trekkes også fram i rapporten Bærekraftig bruk av kystarealene i havbruk av Tveterås et al. (2023). Også i offshore anlegg er dødeligheten lavere enn gjennomsnittet for tradisjonelle anlegg.

3.9 Medisiner og kjemikaliebruk

Legemidler som brukes i norsk oppdrett inkluderer behandlinger mot innvollsorm, antibakterielle midler, desinfeksjonsmidler, anestesimidler og midler brukt i lusebehandling (Grefsrud et al., 2024). Antibiotikabruk i næringen har blitt kraftig redusert siden 80- og 90-tallet på grunn av vaksinerings og avlsprogram (Grefsrud et al., 2024). Det er lav forekomst av antibiotikaresistens (Grefsrud et al., 2024). I 2022 ble følgende brukt som medikamentelle avlusningsmidler: 577 kg azametifos, 3 kg deltametrin, 5 900 kg imidaklorid, 3 004 tonn hydrogenperoksid, 79 kg emamektin, 732 kg flubenzuroner (Grefsrud et al., 2024). Det er ikke krav til rensing før utslipp av de fleste avlusningsmidler. Imidaklopid, skal renses før utslipp, og konsentrasjonen må være lavere enn eller lik 0,3 µg/l. Det ble også brukt 396 kg antibakterielle midler. Bruken av antibakterielle midler er ca. 1 - 2 % av det totale forbruket i Norge, som inkluderer human, veterinær og akvakultur. I Havforskningsinstituttets risikovurdering er det kun midler brukt til avlusning som er risikovurderte siden det forventes en lav sannsynlighet for negative effekter av andre legemidler for "non-target arter". For bruk av avlusningsmidler er risikoen vurdert lav for 11 av 13 produksjonsområder. For produksjonsområde 4 (Norhordland til Stadt) og 10 (Andøya til Senja) er risikoen vurdert moderat. Dette er fordi det har blitt brukt flubenzuroner i sommerhalvåret og emamektin i både vinter -og sommerhalvåret i produksjonsområde 4. I produksjonsområde 10 er det også brukt emamektin både sommer- og vinter halvåret, og deltametrin i sommerhalvåret.

Avlusningsmidler kan enten gis i badebehandling (hydrogenperoksid, azametifos, deltametrin og imidakloprid) eller via fôret (flubenzuroner og emamektin-benzoat) (Grefsrud et al., 2024). Det har ikke vært tilgjengelig informasjon om badebehandlinger har vært utført i merd eller i brønnbåt. I løpet av noen timer vil bademidler fortynnes til lave konsentrasjoner og spres avhengig av temperatur, strøm og sjikting i vannsøylen. For avlusningsmidler gitt i fôret vil størrelse på partikler og strømforholdene ha stor betydning for hvor mye som sedimenters under anlegget og hvor mye som spres.

Lakselus er et krepsdyr og medikamentell behandling av lakselus kan påvirke "non-target arter" som andre krepsdyr, eksempelvis reke, hummer og sjøkreps. I verste fall kan eksponering for avlusningsmidler føre til økt dødelighet eller endringer i adferd, respirasjon og genuttrykk. Konsekvenser av utslipp avhenger både av lokalitet og tilstedeværelse og livsfase av følsomme arter. Det er høy sannsynlighet for alvorlige effekter for "non-target arter" ved bruk av deltametrin og flubenzuroner ved bruk i sommerhalvåret. Emamektin er vurdert å ha lav effekt, men det trengs mer kunnskap om effektene, spesielt for perioder med mange behandlingsrunder (Grefsrud et al., 2024).

3.10 Lakselusbehandling

Lakselusbehandling kan deles inn i medikamentell og ikke-medikamentell behandling. Siden 2016 har bruken av medikamentell behandling gått ned (Grefsrud et al., 2024; Sommerset et al., 2024). Kjemiske avlusningsmidler kan påvirke og være dødelige for andre marine arter. Ettersom lusen har blitt mer resistent mot medisinsk behandling har denne type behandling blitt redusert. Ikke-medikamentelle avlusningsmidler som termisk avlusning (varmt vannbad), ferskvannsavlusning, laser og mekanisk avlusning har imidlertid økt. Mekanisk og termisk avlusning kan være stressende for fisken og redusere oppdrettsfiskens velferd, spesielt om den allerede er svak eller syk. Det siste året har det vært en nedgang i bruken av termisk behandling, men det har vært en økning i kombinasjonsmetoder som enten kombinerer to eller tre behandlingsformer (Sommerset et al., 2024).

Produksjonsformer som har redusert eller ingen mengde lus anses å ha en fordel med tanke på fiskevelferd ved at fisken spares for stressende lusebehandlinger. Dette gjelder i hovedsak lukkede, semi-lukkede, landbaserte og nedsenkbare anlegg. Lakselusen oppholder seg i de øvre vannlagene og ved nedsenkbare anlegg vil det være reduserte lusenivå (Warren-Myers et al., 2022). Lukkede og semi-lukkede anlegg har en hel eller delvis barriere mot lusen. Noen lukkede og semi-lukkede anlegg pumper også inntaksvannet fra dypet der det er færre lus og reduserer dermed lusenivået (Misund and Thorvaldsen, 2022).

3.10.1 Bruk av rensefisk

Rensefisk som rognkjeks og leppefisk har blitt brukt som behandling for lakselus ettersom rensefisken spiser lakselusen. Det har både blitt brukt oppdrettet og villfanget rensefisk i oppdrett. De siste årene har det vært en reduksjon i bruken av rensefisk med 33,9 millioner rensefisk i 2023 mot 60,9 millioner rensefisk i 2019 (Sommerset et al., 2024). Om lag halvparten av all rensefisk er oppdrettet rognkjeks. Uttak av vill leppefisk for bruk i lusebehandling ble i 2018 stoppet etter bekymring for høyt uttak av leppefisk (Grefsrud et al., 2024). Havforskningsinstituttet mener det er for tidlig å vurdere om kvotene er bærekraftige over tid, men det har vært liten eller ubetydelig endring i leppefiskbestandene etter fangst foreløpig. Det er store velferdsmessige utfordringer ved bruk av rensefisk og det er høy dødelighet hos rensefisk (Riksrevisjonen, 2023).

Transport av leppefisk kan utgjøre en risiko for genetisk innkryssing i de lokale leppefiskbestandene ved rømming (Grefsrud et al., 2024). Det har vært påvist i genetiske studier at det har skjedd rømming og genetisk påvirkning fra Skagerrakbestanden hos grønngylt i produksjonsområde 6 og 7. De siste årene har det vært en reduksjon i transport av villfanget leppefisk i disse produksjonsområdene. Introduksjon av fisk i

et område fra et annet kan også føre med seg patogener. Det har foreløpig ikke vært større sykdomsutbrudd hos oppdretts- og villfisk som følge av bruk av rensefisk. Risiko for smittespredning vurderes som lav i fangstområde "Sørlandet". For fangstområdene "Vestlandet" og "Nord for 62 grader nord" vurderes risikoen som moderat. Havforskningsinstituttet kategoriserer også smittespredning via transportmiddel eller transportvann som en svart svane, som vil si at dette er en risiko som ikke må undervurderes og at den kan innebære overraskelser med kritiske konsekvenser.

Rensefisk brukes først og fremst i tradisjonelle anlegg. Det er ikke behov for rensefisk i anlegg som er beskyttet mot lus som lukket, nedsenkbar og landbasert. For eksponerte lokaliteter er det ikke anbefalt med bruk av rensefisk ettersom forholdene er for krevende for både rognkjeks og leppefisk (Hvas et al., 2021).

Philis et al. (2022) undersøkte livssykluseffekter av biologiske avlusingsbehandlinger i lakseoppdrett og kvantifiserte effekter av lusebehandling med bruk av rensefisk på lakseoppdrett. Studiet bruker LCA for å kvantifisere virkningene av tre ulike verdikjeder uttrykt per tonn rensefisk oppdrettet eller fisket, distribuert og brukt. Effektene av oppdrettsrognkjeks, oppdrettsleppesfisk og fisket leppesfisk kombineres deretter for å beregne fotavtrykket til den norske biologiske lusebehandlingsblandingen uttrykt per tonn produsert laks. Studien fant at bruk av fisket leppesfisk gir betydelig lavere påvirkning enn oppdrettsrognkjeks og oppdrettsleppesfisk. Samlet sett har virkningene av biologiske lusebehandlinger et lavt bidrag til laksens fotavtrykk, noe som tyder på at bruk av denne behandlingstypen kan være en god tilnærming til å behandle laks. Slike gunstige resultater avhenger imidlertid av tre kritiske faktorer: (1) effektiviteten av biologiske lusebehandlinger må være bekreftet og kvantifisert; (2) økosystempåvirkninger bør redegjøres for; og (3) velferdsspørsmål for rensefisk må tas opp.

3.11 Påvirkning på villaksbestander og andre økosystem

Dette kapittelet fokuserer i hovedsak på påvirkning på villaksbestander grunnet lakselus og rømming av oppdrettslaks. Også andre arter og økosystemer blir påvirket av oppdrett. Dette gjelder blant annet villfisk som spiser laksefôr og er utsatt for smitte av sykdommer, krepsdyr og andre organismer kan påvirkes av medikamenter brukt i lusebehandling, og sårbare naturtyper kan være utsatt for utslipp av partikulært materiale fra oppdrett.

3.11.1 Lakselus

Det antas at oppdrett er årsak til mer enn 97 % av all lakselus i Norge (Grefsrud et al., 2024). Lakselus og påfølgende dødelighet av villaks er ansett som en av de største utfordringene til norsk oppdrett. Mange produksjonsformer er utviklet med mål om å redusere omfanget av lakselus. Å løse lakselus-problematikken er også bakgrunnen til produksjonsområdeforskriften og trafikklyssystemet. Lakselus kan føre til nedgang i villakspopulasjoner over tid, tap av genetisk mangfold, og i verste fall tap av lokale bestander.

Lukkede anlegg har en barriere mot vannet rundt og dermed er det redusert sannsynlighet for å få lus i anleggene (Misund and Thorvaldsen, 2022). Flere anlegg pumper inntaksvann fra dypet der det ikke er lakselus. I nedsenkbare anlegg holdes laksen under nivået det lakselusen holder til og har dermed lavere risiko for lakselus (Oppedal et al., 2017; Sievers et al., 2021). Blant konseptene som fikk tildelt utviklingstillatelse hadde alle en form for tiltak for å redusere mengden lakselus (Moe Føre et al., 2022). Dette var enten ved hele eller delvise barrierer, der spesielt det øvre vannlaget var skilt fra sjøen rundt, behandling av inntaksvannet, nedsenkbare bur eller beliggenhet i områder der det er mindre lakselus, som f.eks. offshore lokaliteter. Det kan være redusert risiko for spredning av lakselus i offshore anlegg dersom de er plassert langt unna andre anlegg (Misund and Thorvaldsen, 2022).

3.11.2 Rømming

Rømming av oppdrettslaks kan føre til genetisk innkryssing, eller genetisk forurensing, av villakspopulasjoner (Grefsrud et al., 2024). Dette kan medføre reduksjon av genetisk mangfold mellom villaksbestander og at villaksen blir dårligere tilpasset et liv i naturen. Dersom det observeres mer enn 4 % genetisk innkryssing i en bestand anses tilstanden som "dårlig", og den anses som "svært dårlig" dersom det er over 10 %. Av 250 undersøkte bestander hadde omtrent en tredjedel av bestanden tilstanden "svært dårlig". Ifølge Havforskningsinstituttet har det vært et redusert antall rømminger de siste årene (Grefsrud et al., 2024). I 2023 rømte det 1 462 laks og 15 304 regnbueørret fordelt på 42 rømmingshendelser (Barentswatch, 2024a). De siste årene har det vært en reduksjon i antall rømte oppdrettsfisk (Barentswatch, 2024a). Alle rømmingstilfeller må rapporteres til Fiskeridirektoratet (Lovdata, 2008).

Av anleggene som søkte på utviklingstillatelser så presenterte 30 % løsninger for å hindre rømming og 87 % av de tildelte konseptene hadde rømmingstiltak. Dette viser at tildelende myndigheter prioriterte redusert rømming høyt (Moe Føre et al., 2022). Blant tiltakene var det forbedrede barrierer som enten var laget av sterkere materialer eller hadde doble barrierer, færre og tryggere operasjoner og høyere strukturell integritet enn tradisjonelle anlegg. 20 av 23 anlegg som ble tildelt tillatelse hadde forsterkede barrierer.

Rømming skjer både grunnet tekniske årsaker og ved menneskelig, operasjonell feil. Ifølge prosjektet Hindre rømming¹³ står hull i not for 75 % av alle rømminger mellom 2010 og 2018. Deretter er not under vann (25 %), landanlegg (8 %) og transport (1 %) de viktigste årsakene til rømming. Hull i not kan komme fra håndtering av eller konflikt med notsystemet. Trenging av fisk under håndtering ved avlusning og ved dårlig vær var en viktig årsak til rømming. I tillegg til å sørge for at noten ikke kommer i konflikt med annet utstyr er det viktig at oppdrettere planlegger godt og har god opplæring for hindre rømming og håndtere rømmingshendelser.

Basert på utforming og materiale til nøtene til offshorekonseptet Havfarmen så vurderes oppdrettsanlegget som relativt rømmingssikkert (Jensen, 2019). Det har ikke vært noen tilfeller med rømminger fra anlegget. Offshore anlegget Ocean Farm 1 opplevde i 2020 en rømming grunnet hull i noten (Kyst.no, 2020).

3.11.3 Påvirkning på økosystem: bunnlevende arter og naturtyper

Utslipp av organisk materiale fra oppdrett kan føre til økte forekomster børstemark, mindre krepsdyr, og at habitater med kalkalger blir utkonkurrert av hurtigvoksende alger (Uglem et al., 2020). I Norge er det vanlig med habitat med kalkalger fra Nordland og oppover. Dypvannskoraller kan bli påvirket av utslipp av organisk materiale ved at kalkskjelllettet eroderer og at vekstraten synker (Kutti et al., 2015). Nordlaks, som har et offshore konsept, fikk nei til et oppdrettsanlegg pga. av potensiell påvirkning på dyphavskoraller (Furuset and Njåstad, 2022). Det er fortsatt lite kunnskap rundt forekomster og helsen til korallrev langs norskekysten, men et funn fra Havforskningsinstituttet i 2021 oppdaget 44 nye korallrev, men mange av disse var døende (Fredriksen, 2021).

Krepsdyr som hummer og reke kan påvirkes negativt av utslipp av lusemedikamenter (Grefsrud et al., 2024). Sjøstjerner, kråkeboller og krabber kan påvirkes av organiske utslipp opp til én km fra oppdrettsanlegget (Woodcock et al., 2018). Utslipp av organisk materiale kan øke tettheten av hvite kråkeboller (*Gracilechinus acutus*) som er observert å være 10 ganger høyere ved et oppdrettsanlegg enn andre steder (White et al., 2017, 2018). Økte forekomster av kråkeboller kan beite ned tareskogen. Andre påvirkninger på bunnfauna inkluderer at fettsyresammensetningen hos langpiggsjøpiggsvin blir endret (*Echinus acutus*) (White et al., 2017) og at kråkebollen *Heliocidaris erythrogramma* sin reproduksjon endres (White et al., 2016).

¹³ <https://hindreromming.no/>

Når organisk materiale brytes ned av bakterier eller dyr forbrukes oksygen. Hvis forbruket overstiger tilgangen kan det føre til oksygenmangel. Deretter vil det organiske materialet saktere brytes ned og det kan utvikles giftige gasser som kan drepe bunndyrene. I områder med lite vannutskiftning kan det oppstå endringer i bunndyrsamfunnet på grunn av utslipp av organiske partikler som fekalier eller fôrspill fra oppdrett. Korallrev, korallskog, kalgalger og svampområder kan påvirkes negativt av organisk utslipp ved redusert vekst, reproduksjon og overlevelse (Grefsrud et al., 2024). Kunnskapen om disse effektene er fortsatt mangelfull, men ettersom disse naturtypene bruker lang tid på å reetablere seg antar man at de er ekstra sårbare for utslipp fra oppdrett. En meta-analyse av ca. 86 globale studier viser at suspendert sediment på 10 mg/L gir negativt vekst i koraller og at 3,2 mg/L kan føre til bleking og vevsdødelighet i koraller (Tuttle and Donahue, 2022).

Det er behov for et større datagrunnlag enn det som er tilgjengelig i dag for å fastslå hvilke effekter f.eks. utslipp av næringssalter, partikulært organisk materiale, kobber og avlusningsmidler kan ha på sårbare naturtyper som f.eks. ruglbunn, ålegressenger og tareskog (Grefsrud et al., 2024). Disse naturtypene kan også påvirkes av klimaendringer og det er usikkert hvordan den totale belastningen vil slå ut for ulike marine arter og økosystem.

I Jordan et al. (2024) ble det vist at forbrenning av diesel var en driver for terrestrisk forurening og tap av biologisk mangfold. De fleste arbeidsbåter, brønnbåter og servicefartøy er dieseldrevne, og redusert bruk av fartøy eller overgang til elektriske båter kan redusere negativ påvirkning fra forbrenning av diesel. Produksjonsformer med redusert avlusning som semi-lukket, lukket og nedsenkbar vil trolig ha mindre behov for brønnbåter. Også for landbaserte produksjonsformer er det mindre til ingen behov for fartøy, men det kan dog være et større behov for transport med lastebiler.

3.12 Materialbruk og resirkulering

Hognes og Skaar (2017) gjennomførte et materialregnskap for tradisjonelt oppdrett i sjø. Tradisjonelle anlegg består som oftest av runde flyteringer i plast med nøter i nylon som er forankret med tau. Det finnes også bur med stålrammer, men dette er mindre vanlig. Basert på tall fra 2017 brukes det totalt 192 000 tonn plast og 72 000 tonn metall i tradisjonelt oppdrett. Ut fra dette genereres mellom 16 000 og 29 000 tonn plast, og 4 300 – 8 500 tonn metall per år (Hognes and Skaar, 2017). I følge en oversiktsrapport fra NCE Seafood Innovation blir 33 % av plastavfallet fra oppdrett resirkulert og 63 % ender opp enten i forbrenning eller i landdeponi (NCE Seafood Innovation, 2023). Av den resirkulerte andelen er den kun to tredjedeler som brukes igjen i næringen resten av produktene går til mer lavverdi produkter i andre næringer. Prosjektet SirkAQ¹⁴ ser på muligheter for å øke graden av plast som resirkuleres innen havbruk. Oceanize¹⁵ og Nofir¹⁶ er to selskaper som tar imot plast fra havbruksnæringen og produserer plastgranulat fra blant annet tau, nøter og presenninger.

Offshore anlegg er større og tyngre konstruksjoner enn tradisjonelle anlegg og består av mye stål (Fiskeridirektoratet, n.d.). For lukkede og semi-lukkede anlegg vil det være mer materialbruk enn i tradisjonelt oppdrett, men mengde og materialer avhenger av konsept. For eksempel er Ovum sitt anlegg Egget bygget i glassfiber mens konseptet til Akvafuture er bygget betong. Nedsenkbare anlegg har ca. 1000 kg ekstra plast i forhold til tradisjonelle anlegg, grunnet kuppel og tak. Landbaserte anlegg består i stor grad av betong, stål, glassfiber og plast (Hilmarsen et al., 2018).

¹⁴ <https://sirkaq.no/om-prosjektet/>

¹⁵ <https://oceanize.no/en/>

¹⁶ <https://nofir.no/>

Stål er et materiale som varer lenge og kan gjenvinnes (Broadbent, 2016; Norsk Stålforbund, n.d.). Glassfiber kan gjenvinnes, men det er viktig med rimelige prosesser for dette ettersom ny glassfiber ikke er et dyrt materiale relativt sett (Krauklis et al., 2021). Resirkulert glassfiber er også 80-90 % svakere enn nytt glassfiber. Selskapet Ecofiber Recycling AS¹⁷ tar imot og gjenvinner glassfiber blant annet fra båtvrak. Betong kan gjenvinnes ved at det brukes som tilslag i produksjon av ny betong (Miljødirektoratet, n.d.). Eventuelt kan det brukes til å erstatte pukk ved etablering av veier, parkeringsplasser, støyvoller eller rehabilitering eller utfylling av terreng etter gravearbeider. Det er mulig å gjenvinne både nylon og kobber fra oppdrettsnøter (Kløvstad, 2023). Miljøavtrykket til materialproduksjon per kg produsert laks avhenger av produsert biomasse og levetid på anleggene. Dess lenger et anlegg står dess lavere vil miljøavtrykket per kg laks være. Til vår kjennskap er det ikke blitt undersøkt gjenvinning av glassfiber og betong fra oppdrett, men vi antar at dette vil være mulig. Graden av gjenvinning, samt kvaliteten på de resirkulerte produktene og infrastrukturen som kreves for gjenvinning vil også ha en innvirkning på miljøfotavtrykket knyttet til materialer. Videre er det rimelig å anta at innen nye anlegg fra nye produksjonsformer skal avhendes så vil gjenvinningsteknologien ha kommet lenger enn i dag.

4 Produksjonsformers påvirkning på klima, natur og miljø

I dette kapitlet gis det en oppsummering av hver produksjonsforms mulige påvirkninger på natur og miljø eller reduksjon av påvirkninger. Tabell 2 sammenstiller funnene presenter i kapittel 4.1-4.6 og oppsummerer den forventede påvirkningen fra en produksjonsform sammenlignet med oppdrett i tradisjonelle merder. Vurderingen som presenteres i dette kapitlet er forfatterens egne, basert på tidligere forskning og informasjon fra industrien som har blitt presentert i kapittel 3. Det er fortsatt mye av kunnskapsgrunnlaget som er usikkert og mange av påvirkningene er basert på hva aktører forventer fra en produksjonsform, samt undersøkelser og tester fra de første produksjonssyklusene som er gjennomført. Denne rapporten har ikke gått detaljert inn på geografiske forskjeller, miljøforhold og lokale tålegrenser for miljøet, men dette er også grunnleggende ved vurdering av produksjonsform ettersom produksjonsformene kan være tilpasset spesielle miljøer, som for eksempel lukket og offshore produksjonsform.

Tabell 2: Oversikt over risiko og muligheter med ulike produksjonsformer for påvirkninger på natur og miljø. Vurderingene i tabellen er basert på funnene presentert i kapittel 4.1-4.6.

Påvirknings-kategori	Tradisjonell	Lukket	Semi-lukket	Offshore	Landbasert	Nedsenkbar
Vannforbruk	Oppdrett i sjø, bruker ikke ferskvann.	Oppdrett i sjø, bruker ikke ferskvann.	Oppdrett i sjø, bruker ikke ferskvann.	Oppdrett i sjø, bruker ikke ferskvann.	For settefisk-produksjon er det behov for ferskvannsuttak. RAS-anlegg vil ha et lavere ferskvannsforbruk enn gjennomstrømningsanlegg. Matfisk-produksjon i landbaserte anlegg bruker ikke ferskvann.	Oppdrett i sjø, bruker ikke ferskvann.
Energibruk	Majoriteten av fartøy er dieseldrevne og ca. halvparten av anleggene er hybride eller fullstendig drevet på diesel.	Har høyere energiforbruk enn tradisjonelt.	Har høyere energiforbruk enn tradisjonelt.	Har høyere energiforbruk enn tradisjonelt anlegg og elektrifisering er utfordrende.	Høyest energiforbruk per kg laks produsert sammenlignet med alle produksjonsformer.	Har lavere energiforbruk enn tradisjonelt.

¹⁷ <https://www.ecofiber.no/materialgjenvinning/>



Klimagass-utslipp	Estimert 522 g CO ₂ -eq. per kg laks før slakt. Dieselbruk i servicefartøy, arbeidsbåter og brønnbåter hoveddriver til utslipp.	Estimert 556 g CO ₂ -eq. Dieselbruk i servicefartøy, arbeidsbåter og brønnbåter hoveddriver til utslipp.	Estimert 390-629 g CO ₂ -eq. Dieselbruk i servicefartøy, arbeidsbåter og brønnbåter hoveddriver til utslipp.	Estimert 666-917 g CO ₂ -eq. Dieselbruk i servicefartøy, arbeidsbåter og brønnbåter hoveddriver til utslipp.	Estimert 567 g CO ₂ -eq. Strømforbruk er den største driveren til klimagass-utslipp.	Estimert 433 g CO ₂ -eq. Dieselbruk i servicefartøy, arbeidsbåter og brønnbåter hoveddriver til utslipp.
Arealbruk	Arealinngrep anses som reversibelt.	Arealinngrep anses som reversibelt. Kan utnytte arealer i mer skjermede områder.	Arealinngrep anses som reversibelt. Kan utnytte arealer i mer skjermede områder.	Arealinngrep anses som reversibelt. Kan utnytte arealer i mer eksponerte områder.	Dersom det ikke brukes industritomter så vil det gjøres irreversible arealinngrep. Krever areal på land.	Arealinngrep anses som reversibelt. Kan utnytte arealer i mer eksponerte områder.
Utslipp til sjø	I utgangspunktet ikke oppsamling av slam, men det finnes tekniske løsninger.	Mulighet for redusert utslipp av partikulære stoffer. Har oppsamling av slam. Rensing av vann inn og ut er mulig.	I utgangspunktet ikke oppsamling av slam, men det finnes tekniske løsninger.	I utgangspunktet ikke oppsamling av slam, men det antas bedre vannutskiftning, og dermed lavere påvirkning enn for tradisjonelt.	Oppsamling av slam og rensing av avløpsvann er lovpålagt.	I utgangspunktet ikke oppsamling av slam, men det finnes tekniske løsninger. Mindre utslipp av groe.
Medisin- og kjemikaliebruk	Først og fremst bruk av medisiner til medikamentell avlusning.	Mindre bruk av medisiner grunnet lavere behov for avlusning.	Mindre bruk av medisiner grunnet lavere behov for avlusning.	Medisinbruk sammenlignbart med tradisjonelle anlegg.	Mindre bruk av medisiner grunnet at det ikke er behov for avlusning.	Mindre bruk av medisiner grunnet lavere behov for avlusning.
Fiskehelse og velferd	Lus, lusebehandling, sår og sykdommer er store utfordringer.	Vintersår kan være en utfordring, men mindre lus og lusebehandling gir økt fiskevelferd.	Mindre lus og lusebehandling gir økt fiskevelferd.	Lik som for tradisjonelt. Forventes gode strøm- og oksygenforhold. Ved dårlig vær kan fiskevelferd utfordres.	Fravær av lus og lusebehandling gir økt fiskevelferd.	Mindre lus og lusebehandling gir økt fiskevelferd. Kaldere temperatur og lavere oksygen kan utfordre fiskevelferd.
Lusepåslag og behandlinger	Avlusninger gir redusert fiskevelferd og økt dødelighet. Medisinsk behandling kan medføre utslipp av giftige stoffer i miljøet.	Redusert behov for lusebehandling.	Redusert behov for lusebehandling.	Det antas redusert behov for lusebehandling.	Ikke behov for lusebehandling.	Redusert behov for lusebehandling.
Dødelighet	Dødelighet på ca. 15-20 %.	Antas lavere dødelighet grunnet lavere lusepress. Vintersår kan bidra til økt dødelighet.	Antas lavere dødelighet grunnet lavere lusepress.	Foreløpige resultater viser lavere dødelighet enn for tradisjonelt oppdrett.	Antas lavere dødelighet grunnet lavere lusepress. Fisken kan være mer sårbar mot partikler.	Antas lavere dødelighet grunnet lavere lusepress.
Rømming	16 816 rømte laks og regnbueørret i 2023, fordelt på 42 rømmingshendelser. Redusert rømming siden 2019.	Antas redusert rømming ved bruk av dobbel barriere.	Antas lik til mindre rømming enn tradisjonell.	Antas lik som tradisjonell.	Flere barrierer mot sjøen som hindrer rømming.	Antas lik til mindre rømming enn tradisjonell.
Påvirkning på økosystem	Effekter fra lakselus, rømming, utslipp av medisiner og partikulære utslipp.	Redusert påvirkning fra utslipp, lus og rømming.	Redusert påvirkning fra lus. (Potensielt også fra	Antas lik eller mindre påvirkning fra utslipp enn for	Redusert påvirkning fra utslipp, lus og rømming.	Redusert påvirkning fra lus. Potensielt større punkt-påvirkning fra



			partikulære utslipp).	tradisjonelle anlegg.		partikulære utslipp.
Materialbruk og resirkulering	Anlegg er ofte bygget i plast. 33 % av plasten resirkuleres.	Mer bruk av materialer som plast, stål, glassfiber og betong avhengig av design. Gjenvinningsmengden er usikker.	Mer bruk av materialer som plast, stål, glassfiber og betong avhengig av design. Gjenvinningsmengden er usikker.	Mer bruk av stål. Mulig å resirkulere stål, samt bruke resirkulert stål.	Mer bruk av betong, stål, plast og glassfiber. Gjenvinningsmengden er usikker.	Lignende materialbruk som tradisjonell, men mer plast til luftkuppel og tak. Resirkuleringsgrad antas som lik tradisjonell.

4.1 Tradisjonell

I denne rapporten betraktes oppdrett i tradisjonelle merder som en referanse i forhold til de andre produksjonsformene. I rapporten har det blitt presentert en gjennomgang av påvirkning på natur og miljø fra tradisjonelle anlegg. Utslipp som fekalier, næringssalter, fôrspill og medisiner fra tradisjonelle anlegg slippes i utgangspunktet rett ut i sjø. Det finnes tekniske løsninger for slamoppsamling, men dette er verken lovpålagt eller vanlig å bruke. Dette kan påvirke bunnforhold og fauna, men likevel har de fleste anlegg en "meget god" eller "god" miljøtilstand basert på B-undersøkelser. Foreløpig er det vanlig med bruk av antibegroingsmidler som ofte består av giftige biocider. Selv om bruken av kobberimpregnering går ned har det kommet nye stoffer som kan ha en negativ påvirkning på marine arter. Villfisk kan spise fôrspill og være utsatt for smitte fra lakseoppdrett i tradisjonelle anlegg. Mekanisk avlusning av lakselus og sykdommer som ILA og PD er utfordrende for fiskehelsen og er store drivere for dødelighet. Oppdrett i tradisjonelle merder er også sårbar mot angrep fra andre arter som maneter eller ved oppblomstring av giftige alger. Lakselus er den viktigste driveren for dødelighet av utvandret vill laksesmolt og to produksjonsområder har tilstanden rød i trafikklssystemet, noe som tilsvarer en dødelighet på over 30 % av villaks-smolten. Antall rømminger fra lakseoppdrett er på redusert. Hovedårsaken til rømming er hull i not. Sammenlignet med andre produksjonsformer har tradisjonelle anlegg et relativt lavt energi- og materialbehov. Om lag halvparten av anleggene i Norge er elektrifiserte. Nøter, tau og fôrslanger gir utslipp av mikroplast.

4.2 Lukket

Det kan forventes at lukkede anlegg slipper ut betydelig mindre fekalier og fôrspill siden slammet kan samles opp. Dette betyr at bunnmiljøet ikke vil påvirkes i like stor grad som fra et tradisjonelt anlegg og at villfisk ikke spiser fôrspill. Muligheten til å samle opp organisk avfall gjør denne produksjonsformen fordelaktig til bruk på skjermede lokaliteter der det er lite gunstige forhold for tradisjonelt oppdrett, med lavere strømhastighet og oksygennivå. Oppsamlet slam kan brukes videre til f.eks. biogass eller gjødselproduksjon, men miljøgevinsten ved å bruke slam til andre formål er per i dag ikke analysert på en grundig måte. Sårbare naturtyper som korallrev er mindre utsatt for beslamming ved produksjon i lukkede anlegg med slamoppsamling. Det er rimelig å anta økning i energiforbruk i størrelsesorden opptil 25-gangeren for lukkede anlegg. Det vil være økt behov for materialer som plast, stål, glassfiber og betong avhengig av design og konsept. Det er foreløpig usikkert i hvor stor grad glassfiber og betong fra anlegg i sjø kan resirkuleres.

Det er vanskelig å si noe sikkert om hvordan lukkede anlegg vil påvirke fiskevelferd for fisken i merden, men det er naturlig å forvente redusert behov for behandling mot lakselus og dermed bedre velferd og redusert bruk av kjemikalier knyttet til dette. Vintersår kan være en utfordring som kan redusere fiskevelferden. Mindre bruk av medikamenter mot lakselusbehandling vil gi en redusert negativ påvirkning på blant annet krepsdyr. Mindre lus gir også mindre påvirkning på utvandrende laksesmolt. Færre lusebehandlinger fører til bedre fiskevelferd og lavere behov for brønnbåter. Ved fullstendig barriere mot sjøen, vil det være redusert risiko for rømminger, samt er det rimelig å anta at færre lusebehandlinger også vil kunne redusere

risikoen for rømming. Rømming ved havari vil ikke være mindre sannsynlig enn ved havari av tradisjonelle anlegg. Redusert rømming gir mindre genetisk innkryssing av ville laksebestander.

4.3 Semi-lukket

Energibruken til semi-lukkede anlegg vil variere med konsept og teknologi, tilførsel av oksygen og pumping av vann. Det er rimelig å anta at produksjon i semi-lukkede anlegg vil kunne oppnå redusert dødelighet grunnet mindre lakselus og mindre behov for avlusning. Færre lusebehandlinger fører til bedre fiskevelferd og mindre behov for brønnbåter. Mindre lus gir reduserte utslipp av medikamenter til lusebehandling. Det antas at det vil være redusert risiko for rømming grunnet færre lusebehandlinger og dermed også mindre risiko for genetisk innkryssing av lakselus. Det vil være økt behov for materialer som plast, stål, glassfiber og betong avhengig av design og konsept. Det er usikkert hvor mye som kan resirkuleres og hvilken kvalitet det vil være på resirkulerte materialer.

4.4 Landbasert

I landbaserte anlegg vil oppdrettere kunne ha fullstendig kontroll på vannmiljøet og dermed ha gode forutsetninger for å ha et optimalt vannmiljø for fisken. Landbaserte anlegg krever enten eksisterende industritomter eller nedbygging av natur som ofte innebærer sprenging av fjell. Dette regnes som irreversible endringer i naturen i motsetning til oppdrett i sjø som i stor grad regnes som reversibel ettersom det ikke er noen permanente strukturer og mesteparten av utslippet består av lett nedbrytbare partikler. For gjennomstrømningsanlegg er lokalisering nærme kysten viktig for å få utnyttet sjøvannet. I RAS-anlegg resirkuleres vannet, men dette krever mer rensing og behandling. Likevel er energibehovet tilnærmet likt i ulike typer landbaserte anlegg. Sammenlignet med produksjon i tradisjonelle merder i sjø, kan energibehovet være opp mot 100 ganger høyere grunnet blant annet pumping og rensing av vann, og tilførsel av oksygen. Landbaserte anlegg kan kobles på strømmettet og er elektrifiserte, men klimagassutslipp knyttet til energiforbruk er avhengig av hvilken strømmiks som brukes. Lenger sør i landet vil denne iblant være europeisk forsynt mens nord i landet vil det være norsk strømmiks. Ved endringer i kraftnett vil dette påvirke hvilken strømmiks som brukes. For så vidt kan oppdrettere kjøpe opprinnelsesgaranti uavhengig av beliggenhet i landet. Det er krav til rensing og oppsamling av slam ved alle landbaserte anlegg og denne kan brukes videre til f.eks. biogass eller gjødselproduksjon. Det kan forekomme rømminger fra landbaserte anlegg grunnet lekkasje fra kar. Det er et mye høyere materialbehov i landbaserte anlegg med store mengder betong, stål, plast og glassfiber.

4.5 Offshore

Sammenlignet med oppdrett i tradisjonelle merder antas det at påvirkning på miljø og natur vil være redusert grunnet større spredning av utslipp av fôrspill, fekalier og medikamenter. Ved bruk av kobbertråd i nøter vil det være mindre utslipp fra antibegroingsmidler, men denne type nøter kan også brukes i tradisjonelle anlegg. Energiforbruket vil kunne økes noe grunnet blant annet lengre transportdistanser og ved lokalisering langt fra kysten vil elektrifisering være mer utfordrende. Det vurderes flere alternative energikilder som sol, vind og bølgekraft, men den totale påvirkningen på natur og miljø fra disse må vurderes for å kunne si noe om i hvilken grad dette bedrer bærekraften. Produksjon i offshore anlegg vil kreve post-smolt, noe som igjen kan være en driver til mer landbasert produksjon, dersom post-smolt produksjonen skjer på land. Dersom det er mer fisk i et offshore anlegg kan det tenkes at det vil være økt utslipp per anlegg, men totaleffekten må vurderes opp mot spredningen av utslippet. Sårbare naturtyper som korallrev kan være utsatt fra utslipp fra havbruk og områder bør konsekvensutredes før det planlegges havbruk der. Offshore-anlegg krever mer materialer og ventes i hovedsak å være stålanlegg. Produksjon av stål har et relativt høyt klimagassutslipp og er en viktig driver for miljøfotavtrykket til offshore anlegg. Bruk av resirkulert stål og gjenvinning av anleggene vil redusere miljøbyrden herfra. Dersom offshore anlegg plasseres lang unna andre oppdrettsanlegg kan det tenkes at smitterisikoen og lusespredningen er redusert. Laksen er en

svømmedyktig fisk og vil antakeligvis håndtere forholdene ved eksponerte lokaliteter bra, men under kraftig uvær med sterk strøm og bølger kan fiskevelferen bli utfordret ved at fisken presses mot notveggen. Det antas at offshore anlegg er like rømmingssikre som tradisjonelle anlegg. Det kan være mer konkurranse og påvirkning på annen industri som fiskeri ved offshore oppdrett.

4.6 Nedsenkbar

Fordelene med oppdrett i nedsenkbare bur er at fisken beskyttes mot parasitter som lakselus, alger og maneter som holder til i øvre vannmasser. Ved uvær og høye bølger er det mer stabile forhold lenger ned i vannmassene. Dette gjør også at nedsenkbart oppdrett kan gjøres på steder som ikke egner seg for tradisjonelt oppdrett. Derimot kan kaldere vanntemperatur og lavere oksygenivå utgjøre en utfordring for velferden. Dermed er det viktig å plassere nedsenkbare anlegg på lokaliteter med gode strømforhold. Mindre lakselus betyr også færre lusebehandlinger, noe som teller positivt for fiskevelferd og reduserer behovet for brønnbåt og dermed også dieselforbruket. Få eller ingen lusebehandlinger reduserer også utslippet av medikamenter, som igjen har negative effekter på marine organismer som krepsdyr. Nedsenkbare anlegg bruker vannbåren føring som både reduserer energiforbruket ved føring og har mindre slitasje – og dermed reduserte utslipp av mikroplast sammenlignet med luftbåren føring som er vanlig i tradisjonelle anlegg. Nedsenkbare anlegg er nærmere havbunnen der strømmeforholdene kan være annerledes enn høyere i vannmassene. Det kan tenkes av produksjon i nedsenkbare anlegg har en høyere punktbelastning ved at utslippet konsentreres mer på et område enn i tradisjonelle anlegg. Derfor er det viktig å plassere nedsenkbare anlegg der strømforholdene er gode og bunnforholdene er mer hardføre mot en slik påvirkning. Materialbruk i nedsenkbare anlegg er sammenlignbare med tradisjonelle, men det er ca. 1 000 kg mer plast grunnet tak og luftkuppel. I likhet med semi-lukket og lukket vil muligens færre lusebehandlinger kunne redusere risiko for rømming.

5 Kunnskapshull og datamangler

For nye produksjonsformer mangler det målbar data per produksjonsform og mye kunnskap er basert på forventninger og produksjonsdata fra pilotstudier. Det kan også være et gap mellom hva oppdrettere og leverandørindustri opplever rundt hvordan en produksjonsform presterer, der sistnevnte f.eks. tar utgangspunkt i gunstige forhold. I delrapporten *Environmental impacts of emerging salmon aquaculture technologies* ble påvirkning på klima, miljø og natur kvantifisert med bruk av LCA-metodikk (Iordan et al., 2024). For å kunne modellere lokale påvirkninger med en LCA-metodikk er det behov for gode data om den lokale effektgraden. Dette gjelder spesifikt indikatorer som går på naturmangfold og påvirkning på økosystemer. Noen indikatorer, som klimagassutslipp, er globale indikatorer og dermed er det mindre kritisk med lokale effektmønstre.

Det er flere kunnskapshull både når det kommer til mengder utslipp og effekter på miljøet. I *Risikorapport for norsk havbruk 2024* stadfester Havforskningsinstituttet at det fortsatt er behov for mer data og informasjon om blant annet påvirkning på marine arter fra kobberutslipp, hvilke patogener som spres fra havbruk og hvor lenge de overlever i miljøet (Grefsrud et al., 2024). Det er behov for et system som kan spore rømt oppdrettslaks tilbake til anlegget det rømte fra. Det mangler informasjon om toksisitet av nye antibegroingsmidler bortsett fra for kobberimpregnering av nøter.

Det er blitt et større fokus på sårbare naturtyper som korallrev, ruglbunn, ålegressenger og tareskog, og hvordan disse påvirkes av utslipp fra havbruk. Disse naturtypene er også under press fra klimaendringer og påvirkning fra andre kilder som fiskeri og annen industri. Her er det behov for mer kunnskap om hvordan naturtypene påvirkes av havbruk og av andre kilder og hvordan lokale forhold som f.eks. vannutskifting eller topografi spiller inn. Grenseverdier for utslipp vil gi bedre forutsetninger for å vurdere påvirkningen på lokale

økosystemer. Slike grenseverdier for norske forhold og norske arter kan gi et godt grunnlag til forvaltning av marine områder, også der flere næringer sameksisterer med akvakultur. Dette er definert for blant annet lakselus-nivået, genetisk innkryssing, kobber i sedimenter og vannmassene, og for akseptabel påvirkning gjennom Norsk Standard NS9410 for B- og C-undersøkelser for bløtbunn. Det er ikke bestemt noen grenseverdier for påvirkning på hardbunn ennå.

Ved innføring av nye kjemiske stoffer, som medisinske avlusningsmidler og antibegroingsmidler, er det viktig med en konsekvensutredning av stoffene før de tas i bruk av oppdrettere. Dersom dette ikke gjøres risikerer man et problemskifte over til stoffer som potensielt er like giftige som kjemikalierne man ønsker å fase ut, eksempelvis utfasingen av kobberimpregnering med nye biocider som tralopyril som erstatning.

Det nye klassifiseringssystemet for dødelighet som ble inkludert i årets Fiskehelse rapport gir nyttig innsikt i hva som er de viktigste årsakene for dødelighet. Resultatene i år hadde 43 % dekningsgrad blant anlegg i sjø og det er viktig at alle oppdrettere bidrar inn med data til et slik system. Det er sannsynlig at noe dødelighet har vært unngått ved f.eks. utslakting ved sykdomsutbrudd. Her er det mye informasjon som oppdretterne har om hva som har vært hendelsesforløpet før slakt. I tillegg kan slaktevekt og kvalitet på den slaktede fisken gi innsikt i hvordan fiskevelferden var før slakt. Sammenlagt vil dødelighet, slaktevekt, kvalitet og sykdomsutbrudd være indikatorer som kan brukes til å måle fiskevelferd på tvers av de ulike produksjonsformene.

6 Konklusjon

Rapporten gir en oversikt over hvordan ulike produksjonsformer for laks kan øke eller redusere påvirkning på natur og miljø sammenlignet med dagens produksjon i tradisjonelle merder. Her er det ingen produksjonsform som løser alle utfordringene og heller ingen produksjonsform som løser noen utfordringer uten at en annen påvirkning øker. Denne rapporten sammenligner produksjonsformer på et overordnet nivå og det kan være store forskjeller mellom ulike konsepter som regnes å være innenfor samme produksjonsform. Eksempelvis kan et semi-lukket konsept tilføre oksygen eller ha slamoppsamling, mens et annet semi-lukket konsept ikke har det, og begge regnes som samme produksjonsform. Disse variasjonene spiller igjen inn på energibruk og påvirkning på lokale bunnforhold.

Basert på nåværende kunnskap vil produksjonsformene semi-lukket, lukket, nedsenkbar og landbasert kunne redusere lus, lusebehandling, rømming og bruk av brønnbåter. Dette vil ha positive effekter på fiskevelferd, villaks og klimagassutslipp. Samtidig kan fiskevelferden reduseres ved mer vintersår, og materialbruken vil økes. Offshore anlegg kan bruke areal som ikke før har vært tilgjengelig for oppdrett, og potensielt redusere smitte, men her blir det lengre transportdistanser og større forbruk av stål. Sprenging av stein, for bygging av nye landbaserte anlegg der det ikke finnes eksisterende industritomter, er et større og irreversibelt inngrep i naturen sammenlignet med oppdrett i sjø. Lokalisering av nye produksjonsformer og hensyn til lokale forhold vil være viktige faktorer for total påvirkning. Blant annet kan lukkede anlegg legges i fjorder med lav vannutskiftning siden slammet samles opp.

Det er behov for å se påvirkninger på klima, natur og miljø fra et systemperspektiv i en global sammenheng, og ikke kun i lokal sammenheng med den hensikt å bevare norsk natur. Dette er for å unngå 'burden shifting' til andre steder i verden. Et systemperspektiv vil også kunne bidra til kunnskap om f.eks. oppsamling av slam og videre behandling av dette på land vil gi en klima- og miljøgevinst eller om dette kun bidrar til økte klimagassutslipp på grunn av høyt energiforbruk og logistikk i behandling.

Før nye materialer og kjemikalier blir introdusert i nytt utstyr og nye installasjoner bør det gjøres grundig testing av påvirkningen på marine arter og tålegrenser for disse. Det er viktig å kartlegge og hensynta variasjoner i miljøforhold både mellom lokaliteter og produksjonsområder, og velge produksjonsform

deretter. Fra oppdrettere og leverandørers side er det viktig med gode data på ressursbruk og utslipp under produksjon av anlegg og produksjon av fisk. Fra forskningens side er det viktig med enda mer presis kunnskap om effektmønster av utslipp på lokalt nivå, for å kunne vurdere risiko og påvirkning.

7 Kilder

- Aarhus, I. J., Høy, E., Fredheim, A., and Winther, U. (2011). Kartlegging av ulike teknologiske løsninger for å møte de miljømessige utfordringene i havbruksnæringen. SINTEF Fiskeri og havbruk AS. Available at:
https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fkd/vedlegg/rapporter/2011/sintef_kartlegging_ulike_teknologiske_losninger2011.pdf?id=2267401
- Aas, T. S. (2021). Kunnskapsgrunnlag - Slam fra lakseoppdrett. Nofima. Available at:
<https://nofima.brage.unit.no/nofima-xmlui/bitstream/handle/11250/2759672/Rapport%2b23-2021%2bKunnskapsgrunnlag%2b-%2bSlam%2bfra%2blakseoppdrett.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Ådlandsvik, B. (2019). Havbruk til havs – smittespredning. Havforskningsinstituttet. Available at:
<https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2019-58> (Accessed March 22, 2024).
- AKVA Group (2022). RAS. Available at: <https://www.akvagroup.no/landbasert/teknologiske-losninger/ras/> (Accessed February 13, 2024).
- Bannister, J., Sievers, M., Bush, F., and Bloecher, N. (2019). Biofouling in marine aquaculture: a review of recent research and developments. *Biofouling* 35, 631–648. doi: 10.1080/08927014.2019.1640214
- Barentswatch (2024a). Bærekraft i havbruk - Rømming. Available at:
<https://www.barentswatch.no/havbruk/romming> (Accessed March 19, 2024).
- Barentswatch (2024b). Bærekraft i havbruk - Utslipp fra oppdrettsanlegg. Available at:
<https://www.barentswatch.no/havbruk/1080miljoovervakning> (Accessed March 20, 2024).
- Bartlett, H., Balmford, A., Holmes, M. A., and Wood, J. L. N. (2023). Advancing the quantitative characterization of farm animal welfare. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 290, 20230120. doi: 10.1098/rspb.2023.0120
- Berge, A. (2023). Akvafuture oppnådde en driftsmargin på 27 prosent - i lukket anlegg. *iLaks*. Available at:
<https://ilaks.no/akvafuture-oppnadde-en-driftsmargin-pa-27-prosent-i-lukket-anlegg/> (Accessed March 18, 2024).
- Bloecher, N., Floerl, O., and Sunde, L. M. (2015). Amplified recruitment pressure of biofouling organisms in commercial salmon farms: potential causes and implications for farm management. *Biofouling* 31, 163–172. doi: 10.1080/08927014.2015.1012713
- Bloecher, N., Olsen, Y., and Guenther, J. (2013). Variability of biofouling communities on fish cage nets: A 1-year field study at a Norwegian salmon farm. *Aquaculture* 416–417, 302–309. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.09.025
- Boxaspen, K. K., and Husa, V. (2019). Kronikk: Hvor mye løste næringsalter fra oppdrett tåler kysten? *Havforskningsinstituttet*. Available at: <https://www.hi.no/hi/nyheter/2019/juni/hvor-mye-loste-neringsalter-fra-oppdrett-taler-kysten> (Accessed March 13, 2024).
- Broadbent, C. (2016). Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. *Int J Life Cycle Assess* 21, 1658–1665. doi: 10.1007/s11367-016-1081-1

- Broch, O. J., Daae, R. L., Ellingsen, I. H., Nepstad, R., Bendiksen, E. Å., Reed, J. L., et al. (2017). Spatiotemporal Dispersal and Deposition of Fish Farm Wastes: A Model Study from Central Norway. *Front. Mar. Sci.* 4. doi: 10.3389/fmars.2017.00199
- Broch, O. J., and Ellingsen, I. (2020). Kunnskaps- og erfaringskartlegging om effekter av og muligheter for utnyttelse av utslipp av organisk materiale og næringsalter fra havbruk. Delrapport 1 - Kvantifisering av utslipp.
- Browning, H. (2023). Improving welfare assessment in aquaculture. *Front. Vet. Sci.* 10. doi: 10.3389/fvets.2023.1060720
- Dempster, T., Sanchez-Jerez, P., Uglem, I., and Bjørn, P.-A. (2010). Species-specific patterns of aggregation of wild fish around fish farms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86, 271–275. doi: 10.1016/j.ecss.2009.11.007
- Falconer, L., Telfer, T. C., Garrett, A., Hermansen, Ø., Mikkelsen, E., Hjøllø, S. S., et al. (2022). Insight into real-world complexities is required to enable effective response from the aquaculture sector to climate change. *PLOS Climate* 1, e0000017. doi: 10.1371/journal.pclm.0000017
- Fiskeridepartementet, N. (2024). Nytt forurensningsregelverk for havbruk. *Regjeringen.no*. Available at: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-forurensningsregelverk-for-akvakultur-i-sjo/id3024591/> (Accessed March 18, 2024).
- Fiskeridirektoratet (2024a). Akvakultur. Available at: <https://portal.fiskeridir.no/portal/apps/webappviewer/index.html?id=87d862c458774397a8466b148e3dd147> (Accessed March 13, 2024).
- Fiskeridirektoratet (2024b). Havbruk til havs. Available at: https://portal.fiskeridir.no/portal/apps/webappviewer/index.html?id=74d9be72eb0e41d4b15f1d85490106e0&extent=121628.5401%2C7651667.8512%2C1303577.5707%2C8196922.2751%2C25833&showLayers=Omr%C3%A5der_Havbruk_til_havs_2424%3BInnspillsomr%C3%A5der_2023_Troms%C3%B8flaket_5673%3BInnspillsomr%C3%A5der_2023_Troms%C3%B8flaket_5673_4 (Accessed March 13, 2024).
- Fiskeridirektoratet (n.d.). Utviklingstillatelse. *Fiskeridirektoratet*. Available at: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelse/Saertillatelse/Utviklingstillatelse/Kunnskap-fra-utviklingsprosjektene> (Accessed March 20, 2024).
- Føre, M., Asbjørnslett, B. E., Greco, M., Hartmann, K., Halse, M., Hammernes, A., et al. (2022). Forskning og utvikling for realisering av Havbruk til havs. Innspill til strategiske prioriteringer . Første versjon. Available at: https://www.sintef.no/globalassets/sintef-ocean/a4_havbruk-til-havs_korrektur3.pdf
- Fredriksen, B. (2021). Oppdaga 44 nye korallrev i Norge, men mange var døende: – Det er et mysterium. *NRK*. Available at: https://www.nrk.no/nordland/havforskningsinstituttet-oppdaget-44-nye-korallrev-i-norge_-men-mange-er-doende_-_et-mysterium-1.15513226 (Accessed March 13, 2024).
- Furuset, A. (2024). Nye tall på andel produksjonsfisk klare: – Fisken har hatt dårlig velferd | IntraFish.no. *IntraFish*. Available at: <https://www.intrafish.no/fiskehelse/nye-tall-pa-andel-produksjonsfisk-klare-fisken-har-hatt-darlig-velferd/2-1-1605064> (Accessed March 26, 2024).

- Furuset, A., and Njåstad, M. (2022). Havfarmen 2 blir utsatt på ubestemt tid: – Vi har ikke lagt bort prosjektet | IntraFish.no. *IntraFish*. Available at: <https://www.intrafish.no/miljo/havfarmen-2-blir-utsatt-pa-ubestemt-tid-vi-har-ikke-lagt-bort-prosjektet/2-1-1234732> (Accessed March 13, 2024).
- Gentry, R. R., Lester, S. E., Kappel, C. V., White, C., Bell, T. W., Stevens, J., et al. (2017). Offshore aquaculture: Spatial planning principles for sustainable development. *Ecology and Evolution* 7, 733–743. doi: 10.1002/ece3.2637
- Grefsrud, E. S., Agnalt, A.-L., Andersen, L. B., Diserud, O., Dunlop, K. M., Escobar, R., et al. (2024). Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2024. Havforskningsinstituttet. Available at: <https://www.hi.no/templates/reporteditor/report-pdf?id=79308&27623076> (Accessed March 1, 2024).
- Guardiola, F. A., Cuesta, A., Meseguer, J., and Esteban, M. A. (2012). Risks of Using Antifouling Biocides in Aquaculture. *International Journal of Molecular Sciences* 13, 1541–1560. doi: 10.3390/ijms13021541
- Guenther, J., Misimi, E., and Sunde, L. M. (2010). The development of biofouling, particularly the hydroid *Ectopleura larynx*, on commercial salmon cage nets in Mid-Norway. *Aquaculture* 300, 120–127. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.01.005
- Hilmarsen, Ø., Holte, E. A., Brendeløkken, H., Høyli, R., and Hognes, E. S. (2018). Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks – matfisk og post-smolt. SINTEF Ocean AS. Available at: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2564532> (Accessed November 30, 2023).
- Hognes, E. S., and Skaar, C. (2017). Avfallshåndtering fra sjøbasert havbruk.
- Holm, P., Buck, B. H., and Langan, R. (2017). “Introduction: New Approaches to Sustainable Offshore Food Production and the Development of Offshore Platforms,” in *Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean: The Untapped Potential for Marine Resources in the Anthropocene*, eds. B. H. Buck and R. Langan (Cham: Springer International Publishing), 1–20. doi: 10.1007/978-3-319-51159-7_1
- Hvas, M., Folkedal, O., and Oppedal, F. (2021). Fish welfare in offshore salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 13, 836–852. doi: 10.1111/raq.12501
- Inglis, G. J., and Gust, N. (2003). Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. *Journal of Applied Ecology*. Available at: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2664.2003.00860.x> (Accessed March 13, 2024).
- Iordan, C.-M., Strand, A. V., and Mehta, S. (2024). Environmental impacts of emerging salmon aquaculture technologies. SINTEF Ocean.
- Jensen, B.-A. (2024). Mattilsynet har aldri tidligere registrert så mye produksjonsfisk. *IntraFish.no | De siste nyhetene om oppdrettsnæringen*. Available at: <https://www.intrafish.no/fiskehelse/mattilsynet-har-aldri-tidligere-registrert-sa-mye-produksjonsfisk/2-1-1594501> (Accessed March 18, 2024).
- Jensen, P. M. (2019). Her sys kjempenøtene til Havfarmen sammen. Available at: <https://www.kyst.no/garware-havfarm-selstad/her-sys-kjempenotene-til-havfarmen-sammen/368274> (Accessed March 19, 2024).

- Jensen, P. M. (2023). Holder groen borte uten impregnering. Oppdretter har kjøpt 150 nye notposer. Available at: <https://www.kyst.no/garware-kobber-noter/holder-groen-borte-uten-impregnering-oppdretter-har-kjopt-150-nye-notposer/1503424> (Accessed March 19, 2024).
- Johnsen, H. R., Haarr, M. L., Roland, A. O., Johannesen, E. R., Bye-Larsen, I., Vangelsten, B. V., et al. (2019). Sluttrapport HAVPLAST - MArin plast fra norsk sjømatnæring - kartlegging, kvantifisering og handling. SALT.
- Kittelsen, A., Rosten, T., Ulgenes, Y., Selvik, J. R., and Alne, H. (2006). Tilgjengelige ferskvannsressurser til fremtidig produksjon av settefisk av laks og ørret. Akvaforsk, Niva, SINTEF. Available at: <https://tekmar.no/wp-content/uploads/2016/08/523014ferskvannsressurs.pdf>
- Kløvstad, A. (2023). Gjennombrudd for gjenvinning av kobber fra oppdrettsnøter. *Kretsløpet*. Available at: <https://kretsløpet.no/gjenvinning/gjennombrudd-for-gjenvinning-av-kobber-fra-oppdrettsnoter/> (Accessed March 19, 2024).
- Krauklis, A. E., Karl, C. W., Gagani, A. I., and Jørgensen, J. K. (2021). Composite Material Recycling Technology—State-of-the-Art and Sustainable Development for the 2020s. *Journal of Composites Science* 5, 28. doi: 10.3390/jcs5010028
- Kutti, T., Nordbø, K., Bannister, R., and Husa, V. (2015). Havforskningsrapporten 2015. Oppdrettsanlegg kan true korallrev i fjordene.
- Kyst.no (2020). Ny rømming fra SalMars Havmerd Ocean Farm 1. Available at: <https://www.kyst.no/havmerd-ocean-farm-1-salmar/ny-romming-fra-salmars-havmerd-ocean-farm-1/312816> (Accessed March 19, 2024).
- Langlois, J., Fréon, P., Steyer, J.-P., Delgenès, J.-P., and Hélias, A. (2014). Sea-use impact category in life cycle assessment: state of the art and perspectives. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 19, 994–1006.
- Lanzoni, L., Whatford, L., Atzori, A. S., Chincarini, M., Giammarco, M., Fusaro, I., et al. (2023). Review: The challenge to integrate animal welfare indicators into the Life Cycle Assessment. *Animal* 17, 100794. doi: 10.1016/j.animal.2023.100794
- Lomnes, B. S., Senneset, A., and Tevasvold, G. (2019). Kunnskapsgrunnlag for rensing av utslipp fra landbasert akvakultur. Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1568/m1568.pdf>
- Lovdata (2007). Forskrift om begrensnig av forurensning (forurensningsforskriften) - Kapittel 14. Krav til utslipp av kommunalt avløpsvann fra større tettbebyggelser - Lovdata. Available at: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4-4#KAPITTEL_4-4 (Accessed December 1, 2023).
- Lovdata (2008). Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften). Available at: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822?q=akvakulturdrift> (Accessed March 13, 2024).
- Lovdata (2009). Lov om dyrevelferd. Available at: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-97> (Accessed March 13, 2024).

- Lovdata (2013). Forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer - Kapittel VI. Særlige bestemmelser om oppdrettet fisk. Available at: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-06-28-844/KAPITTEL_6#KAPITTEL_6 (Accessed March 13, 2024).
- Lovdata (2017). Forskrift om produksjonsområder for akvakultur av matfisk i sjø av laks, ørret og regnbueørret (produksjonsområdeforskriften). Available at: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-01-16-61?q=produksjonsomr%C3%A5de> (Accessed March 13, 2024).
- Lovdata (2022). Forskrift om dyrehelse (dyrehelseforskriften) - Lovdata. Available at: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2022-04-06-631?q=dyrehelseforskriften> (Accessed March 30, 2024).
- Miljødirektoratet (n.d.). Akvakultur - oppdrett. *Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency*. Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/Akvakultur-fiskeoppdrett/> (Accessed March 18, 2024a).
- Miljødirektoratet (n.d.). Gjenvinning av betongavfall - Miljødirektoratet. *Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency*. Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/industri/for-naringsliv/betongproduksjon/gjenvinning-av-betongavfall/> (Accessed March 22, 2024b).
- Mineur, F., Cook, E., Minchin, D., Bohn, K., MacLeod, A., and Maggs, C. (2012). Changing coasts: Marine aliens and artificial structures. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 50, 189–234.
- Misund, A. U., and Thorvaldsen, T. (2022). *Nye produksjonssystemer i havbruk - Utfordringer og muligheter*. SINTEF Ocean AS. Available at: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/3025748> (Accessed October 27, 2022).
- Moe Føre, H., Thorvaldsen, T., Osmundsen, T. C., Asche, F., Tveterås, R., Fagertun, J. T., et al. (2022). Technological innovations promoting sustainable salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture Reports* 24, 101115. doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101115
- Myrholt, T. (2024). Dødelighet er helt klart altfor høy! *IntraFish.no | De siste nyhetene om oppdrettsnæringen*. Available at: <https://www.intrafish.no/fiskehelse/dodelighet-er-helt-klart-altfor-hoy-/2-1-1599877> (Accessed March 18, 2024).
- NCE Seafood Innovation (2023). Industry Insight. The future of plastics in the Norwegian aquaculture industry.
- Nilsen, A., Nielsen, K. V., and Bergheim, A. (2020). A closer look at closed cages: Growth and mortality rates during production of post-smolt Atlantic salmon in marine closed confinement systems. *Aquacultural Engineering* 91, 102124. doi: 10.1016/j.aquaeng.2020.102124
- Nistad, A. A., Hognes, E. S., Jenssen, J. I., Winther, U., Johansen, U., and Hermansen, T. S. (2021). Potensialet for redusert klimagassutslipp og omstilling til lavutslippsamfunnet for norsk oppdrettsnæring. Status for dagens næring, fremtidig utvikling og potensialet for reduserte klimagassutslipp. Asplan Viak, SINTEF. Available at: <https://7649011.fs1.hubspotusercontent-eu1.net/hubfs/7649011/Rapport%20-%20Energi%20og%20klimakartlegging%20havbruk%20-%20Av%20Asplan%20Viak%20og%20SINTEF%20Ocean.pdf>

- Nordahl, A., Dugstad, L., Bakken, J. B., and Rydje, O. M. (2023). Laksegriseriet. *DN*. Available at: <https://www.dn.no/magasinet/dokumentar/oppdrettsnaring/oppdrettslaks/forurensning/laksegriseriet/7-1-wm98prip> (Accessed March 13, 2024).
- Norderhaug, K. M., Gundersen, H., Johnsen, T. M., Severinsen, G., Vedal, J., Sørensen, K., et al. (2016). Eutrophication status for Norwegian waters. National report for the third application of OSPARs Common Procedure. Niva. Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m589/m589.pdf>
- Norsk Stålforbund (n.d.). Miljø. *Norsk Stålforbund*. Available at: <https://www.stalforbund.no/miljo/> (Accessed March 22, 2024).
- NVE (2023). Akvakultur. Available at: <https://www.nve.no/vann-og-vassdrag/vassdrag-og-grunnvannstiltak/akvakultur/> (Accessed March 18, 2024).
- Oppedal, F., Samsing, F., Dempster, T., Wright, D. W., Bui, S., and Stien, L. H. (2017). Sea lice infestation levels decrease with deeper 'snorkel' barriers in Atlantic salmon sea-cages. *Pest Management Science* 73, 1935–1943. doi: 10.1002/ps.4560
- Philis, G., Ziegler, F., Jansen, M. D., Gansel, L. C., Hornborg, S., Aas, G. H., et al. (2022). Quantifying environmental impacts of cleaner fish used as sea lice treatments in salmon aquaculture with life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology* 26, 1992–2005. doi: 10.1111/jiec.13118
- Regjeringen (2018). Havbruk til hav. Ny teknologi - nye områder. Available at: <https://www.regjeringen.no/contentassets/e29cc668cbf54448a599c6da58cb1b9f/rapport-havbruk-til-havs.pdf>
- Riksrevisjonen (2023). Myndighetenes arbeid med fiskehelse og fiskevelferd i havbruksnæringen. Available at: <https://www.riksrevisjonen.no/globalassets/rapporter/NO-2022-2023/myndighetenes-arbeid-med-fiskehelse-og-fiskevelferd-i-havbruksnaringen.pdf>
- Sample, J. E. (2023). Kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor til norske kystområder i 2021– tabeller, figurer og kart. NIVA. Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2023/januar-2023/kildefordelte-tilforsler-av-nitrogen-og-fosfor-til-norske-kystomrader-i-2021-tabeller-figurer-og-kart/>
- Scherer, L., Tomasik, B., Rueda, O., and Pfister, S. (2018). Framework for integrating animal welfare into life cycle sustainability assessment. *Int J Life Cycle Assess* 23, 1476–1490. doi: 10.1007/s11367-017-1420-x
- Sievers, M., Korsøen, Ø., Warren-Myers, F., Oppedal, F., Macaulay, G., Folkedal, O., et al. (2021). Submerged cage aquaculture of marine fish: A review of the biological challenges and opportunities. *Reviews in Aquaculture* 14, 106–119. doi: 10.1111/raq.12587
- Simkanin, C., Davidson, I., Dower, J., Jamieson, G., and Therriault, T. (2012). Anthropogenic structures and the infiltration of natural benthos by invasive ascidians. *Marine Ecology* 33, 499–511.
- Slette, H. T., Olsen, M. S., Misund, B., Tveterås, R., Strand, A. V., Wetterwald, V. E., et al. (2023). Oversikt over påvirkningsfaktorer for produksjonsformers bærekraft - for vurdering av påvirkning på klima, natur og miljø, samt sosial og økonomisk bærekraft. SINTEF Ocean AS. Available at: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/3106143> (Accessed January 30, 2024).

- Sommerset, I., Walde, C. S., Bang Jensen, B., Bornø, B., Haukaas, A., and Brun, E. (2020). Fiskehelse rapporten 2019. Veterinærinstituttet. Available at: <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2020/fiskehelse rapporten-2019>
- Sommerset, I., Wiik-Nielsen, J., Moldal, T., Oliveira, MHS., Svendsen, JC., Haukaas, A., et al. (2024). Fiskehelse rapporten 2023. Veterinærinstituttet. Available at: <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2024/fiskehelse rapporten-2023>
- Sommerset, I., Wiik-Nielsen, J., Oliveira, MHS., Moldal, T., Bornø, G., Haukaas, A., et al. (2023). Fiskehelse rapporten 2022. Veterinærinstituttet. Available at: <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2023/fiskehelse rapporten-2022>
- Stene, A., Viljugrein, H., Yndestad, H., Tavoranpanich, S., and Skjerve, E. (2014). Transmission dynamics of pancreas disease (PD) in a Norwegian fjord: aspects of water transport, contact networks and infection pressure among salmon farms. *Journal of Fish Diseases* 37, 123–134. doi: 10.1111/jfd.12090
- Støstad, M., Mon, S. T., and Solvang, R. (2024). NRK avslører: 44.000 inngrep i norsk natur på fem år – Dokumentar. NRK. Available at: https://www.nrk.no/dokumentar/xl/nrk-avslorer_-44.000-inngrep-i-norsk-natur-pa-fem-ar-1.16573560 (Accessed March 13, 2024).
- Tuttle, L. J., and Donahue, M. J. (2022). Effects of sediment exposure on corals: a systematic review of experimental studies. *Environ Evid* 11, 4. doi: 10.1186/s13750-022-00256-0
- Tveterås, R., Bryde, M. H., Bruland, G., Misund, B., Walde, C., Akbas, K. K., et al. (2023). Bærekraftig bruk av kystarealene i havbruk - Finnes det tilgjengelig areal for vekst? Available at: https://stiimaquacluster.no/wp-content/uploads/2024/02/Rapport_Baerekraftig-arealbruk-i-havbruksnaeringen.pdf
- Uglem, I., Järnegren, J., and Bloecher, N. (2020). Effekter av organisk utslipp fra havbruk i Norge - en kunnskapsoppsummering. NINA.
- Valdemarsen, T., Hansen, P. K., Ervik, A., and Bannister, R. J. (2015). Impact of deep-water fish farms on benthic macrofauna communities under different hydrodynamic conditions. *Marine Pollution Bulletin* 101, 776–783. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.09.036
- Wang, X., Olsen, L. M., Reitan, K. I., and Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions* 2, 267–283.
- Warren-Myers, F., Vågseth, T., Folkedal, O., Stien, L. H., Fosse, J. O., Dempster, T., et al. (2022). Full production cycle, commercial scale culture of salmon in submerged sea-cages with air domes reduces lice infestation, but creates production and welfare challenges. *Aquaculture* 548, 737570. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737570
- Watson, L., Falconer, L., Dale, T., and Telfer, T. C. (2022). 'Offshore' salmon aquaculture and identifying the needs for environmental regulation. *Aquaculture* 546, 737342. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737342

- White, C. A., Bannister, R. J., Dworjanyn, S. A., Husa, V., Nichols, P. D., and Dempster, T. (2018). Aquaculture-derived trophic subsidy boosts populations of an ecosystem engineer. *Aquaculture Environment Interactions* 10, 279–289. doi: 10.3354/aei00270
- White, C. A., Bannister, R. J., Dworjanyn, S. A., Husa, V., Nichols, P. D., Kutti, T., et al. (2017). Consumption of aquaculture waste affects the fatty acid metabolism of a benthic invertebrate. *Science of The Total Environment* 586, 1170–1181. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.109
- White, C. A., Dworjanyn, S. A., Nichols, P. D., Mos, B., and Dempster, T. (2016). Future aquafeeds may compromise reproductive fitness in a marine invertebrate. *Marine Environmental Research* 122, 67–75. doi: 10.1016/j.marenvres.2016.09.008
- Woodcock, S. H., Strohmeier, T., Strand, Ø., Olsen, S. A., and Bannister, R. J. (2018). Mobile epibenthic fauna consume organic waste from coastal fin-fish aquaculture. *Marine Environmental Research* 137, 16–23. doi: 10.1016/j.marenvres.2018.02.017
- Woods, C. M. C., Floerl, O., and Jones, L. (2012). Biosecurity risks associated with in-water and shore-based marine vessel hull cleaning operations. *Marine Pollution Bulletin* 64, 1392–1401. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.04.019