



Høring «Etablering av en ny ordning for tildeling av miljøteknologitillatelser»

Forfattere:

Sussie Dalvin, Erik-Jan Lock, Vivian Husa, Nigel Keeley, Tore S Kristiansen, Frode Oppedal, Antony Prabhu og Lars Helge Stien

Havforskningsinstituttet
2022

Høring «Etablering av en ny ordning for tildeling av miljøteknologitillatelser»

Innledning

Nærings- og fiskeridepartementet har bedt om innspill til etablering av en ny ordning for tildeling av miljøteknologitillatelser. Den foreslåtte ordningen for tildeling av miljøteknologitillatelser legger opp til løsninger som skal kunne bidra til å løse to hovedutfordringer med dagens åpne lakseoppdrett, spredning av lakselus og utslipp av slam, og setter strenge effektkrav:

- Null utslipp av egg og frittsvømmende stadier av lakselus.
- Minimum 60 prosent oppsamling av slam.

Til hjelp i utforming av endelig forskrift, har Havforskningsinstituttet gått gjennom status, utfordringer og muligheter ved nye tillatelser som skal tilfredsstille disse effektkravene. I tillegg har vi noen generelle kommentarer til forslaget innledningsvis.

Generelle kommentarer til forslaget

Havforskningsinstituttet stiller seg positiv til at det etableres en ny ordning for tildeling av miljøteknologitillatelser.

Det har vist seg krevende med dagens teknologi og produksjonsform å håndtere problemene med lakselusmitte som vurderes som den største og mest akutte miljøtrusselen fra merdbasert oppdrett av laksefisk i sjø. Innføring av teknologi og løsninger som sikrer null utslipp, eller nært null utslipp av egg og frittsvømmende larver av lakselus vil derfor være av stor betydning for å videreutvikle næringen mot økt miljømessig bærekraft. Som diskutert i høringssvaret vurderer vi at det ved bruk av rett teknologi på rett lokalitet vil være mulig å oppnå svært lav risiko for utslipp av lakselus, men at det vil være krevende å oppfylle et krav om hundre prosent sikkerhet.

Oppsamling av slam vil være med på å gi økt bærekraft, både ved å bidra til mer sirkulær utnyttelse av innsatsfaktorene som brukes i fôret, og ved å redusere risiko for overbelastning av fjordmiljøet med organisk materiale. Dette siste vil være særlig viktig i områder der en nærmer seg tålegrensen til miljøet. Oppsamling vil videre redusere risiko for negativ påvirkning på sårbare habitat nær anlegget, samt redusere risiko for overbelastning av bunnen rett under og nær lokaliteten.

Vi anser likevel at å hindre utslipp av lakselus er det viktigste kriteriet gitt risikobildet i dagens havbruksnæring. Når det gjelder kravet om minst 60% oppsamling av slam vurderer vi dette som ambisiøst, og videre at det kan være uhensiktsmessig å knytte en ordning med innovasjonspoeng til en oppsamlingsgrad av slam ut over 60%.

I tillegg til kriteriene for innovasjonspoeng som er gitt i § 9 kan en vurdere innovasjonspoeng basert på løsninger som kan sannsynliggjøre en total reduksjon på spredning av lakselus for selskaper som søker om miljøteknologitillatelsen. Videre kan samarbeid på tvers av selskaper i

et område for å kombinere innfasing av null utslippsteknologi/løsninger for lakselus med andre tiltak gi mindre lakselus i hele området, og kan også telle positivt.

Videre kan det være en fordel å fordele den foreslåtte MTB-en i ordningen på flere løsninger og flere selskap. Slik det er foreslått nå kan et selskap sikre seg inntil 7.500 tonn MTB. En kan vurdere å sette denne grensen lavere, slik at en kan teste flere konkurrerende løsninger, og/eller at flere selskap får testet samme løsning. Dette siste er viktig for å få bekreftet at metoden er robust, og at eventuell suksess eller fiasko ikke skyldes andre utenomliggende forhold. Dette vil også sikre at flere selskap kan bli involvert i ordningen.

Uavhengig av hvordan en innretter ordningen er det vesentlig at det legges opp til god forskningsbasert dokumentasjon av måloppnåelse. Dette gjelder både null utslippskravet på lakselus, og kravet om oppsamling av slam. Videre bør det stilles krav til dokumentasjon av de dyrevelferdsmessige sidene ved bruk av den nye miljøteknologien.

Ved et skifte til alternative oppdrettssystem burde en også dokumentere en miljømessig gevinst med hensyn til energiforbruk og langsiktig bærekraft. Det foreslås derfor at søkeren på forhånd presenterer en evaluering av energiforbruk versus produksjon av biomasse, noe som bør bli tatt hensyn til når man skal utforme anleggets teknologi.

Vedr. krav om null-utslipp av egg og frittstående stadier av lakselus (effektkrav)

Havforskningsinstituttet anser det som viktig at næringen blir stimulert til å utvikle og ta i bruk teknologier som gir null, eller tilnærmet null, utslipp av lakseluslarver. Som nevnt i høringsbrevet finnes det i dag semi-lukkede anlegg der erfaringen er at de har lite utfordringer med lus. Disse anleggene har tette vegger og tar typisk inn vann fra 20-30 m, altså under det såkalte «lusebeltet». De betegnes som semi-lukkede fordi de ikke er fullstendig lukket for innslipp av patogener og utslipp av patogener og avfall fra produksjonen. Å unngå lusebeltet er også formålet til annen preventiv teknologi som luseskjørt, snorkelmerder og nedsenkede merder (Barret mfl. 2020). Erfaringer fra industrien, forsøk og feltobservasjoner viser imidlertid at det tidvis også kan være lakseluslarver i noe dypere vannlag (Samsing mfl. 2016).

Lakselusen starter sitt liv som egg som bæres av hunnen til de klekker til frittlevende nauplius 1 larver. Lakselusen skifter deretter skall to ganger, først til nauplius 2 larver og dernest til kopepoditter som kan infisere laksefisk. Disse kopepodittene justerer sin vertikale posisjon (dybde) for å øke sannsynligheten for å treffe en laksefisk de kan infisere. Det trekkes mot lyset i de øvre vannlag, men samtidig unngår de brakkvann. Det såkalte «lusebeltet» vil derfor typisk ligge fra 0-5 m ute mot kysten, og pga. brakkvann noe dypere inne i fjordene. Det må her bemerkes at det også finnes kopepoditter under «lusebeltet», men i mindre grad jo dypere en går. De blir sjeldent observert under 20 m.

Teknologi som tar inn vann fra dypet, eller tvinger fisken til å stå dypt, vil derfor i stor grad kunne forhindre smitte. Men ved lokaliteter der bunn- og strømforhold skaper nedadgående strømmer, eller i perioder hvor værforhold skaper mye turbulens i vannmassene, kan kopepodittene fraktes langt ned i dypet. Dette medfører at det er en risiko for smitte selv i semi-lukkede anlegg med inntak av vann fra dypere vannlag. For å redusere denne risikoen er det nødvendig med kartlegging av hydrografiske forhold og variasjoner gjennom året før en velger lokalitet og dybde på vanninntak. En annen utfordring ved bruk av dyptliggende vanninntak er

forekomsten av skottelus (*Caligus elongatus*) kopepoditter som er kjent for å ha en noe dypere utbredelse enn lakselus.

Som nevnt i høringsbrevet finnes det eksempler på smitte av lakselus i semi-lukkede anlegg hvor smitten har dødd ut av seg selv etter en viss tid. Spørsmålet er da om et lite antall lus i et slik semi-lukket anlegg kan gi utslipp av luselarver. Det er vist at anlegg med veldig få lus per fisk kan føre til utvikling av ubefruktede hunnlus (Stormoen mfl. 2013, Cox mfl. 2017). Emnet er ikke godt studert, men lakselus hunner oppbevarer lagre av sperma fra tidligere parringer og kan derfor produsere egg i lang tid uten kontakt med hanner. I tillegg kan man observere at hannlus hopper mellom fisker (Bui mfl. 2020), spesielt dersom den befinner seg på en fisk uten ubefruktede hunner. Dette tyder på at sannsynligheten for at produksjon av ubefruktede egg er avhengig av svært lave forekomster av lus på fisken i produksjonsenheten. Voksne lus må hele tidene holde seg fast og kan falle av, f.eks. i forbindelse med trenging. Over tid vil derfor en smitte av lakselus, der det ikke er tilførsel av ny lus, kunne dø ut. Samlet sett kan en imidlertid ikke helt utelukke at semi-lukkede anlegg i perioder kan gi noe utslipp av larver.

Semi-lukkede anlegg som skal ha null utslipp av lakseluslarver må i utgangspunktet derfor inkludere en løsning hvor alt vann inn i anlegget (forhindre all smitte) eller all utslipp av vann fra anlegget kan filtreres eller behandles slik at alle larver dør, men dette er svært krevende gitt de store vannvolumene det er snakk om. Vi mener det derfor er mer realistisk å vurdere løsninger som i praksis vil oppnå nært null utslipp av larver, men hvor det fortsatt er en liten sannsynlighet for at det kan komme inn lus under spesielle forhold.

I forslaget er det spesifisert at det skal være null utslipp av lakselus egg. I et naturlig miljø vil det være et minimalt utslipp av egg, siden disse er godt festet på bakkroppen til den voksne lakselusen og først frigjøres ved klekking. Hvis lakselusen stresses eller ved sterk fysisk påvirkning som kan forekomme for eksempel ved trenging eller mekanisk behandling av fisk, kan eggene løsne fra hunnen. Det er vist at slike egg kan transporteres i vannmassene (Eisenhauer mfl. 2020), men det er ikke gjort studier på om slike egg overlever frem til klekking. Egg som slippes/løsnes vil utsettes for predasjon (som annen plankton) og vil synke til bunnen, noe som kan hindre oksygentilførsel. At voksne hunnlus i naturen bærer eggene til de klekker (cirka 9 dager på 10 °C) til tross for at dette øker predasjonsrisiko for lusen, og øker vannmotstanden, argumenterer sterkt for at dette innebærer store fordeler for eggens overlevelse. Vi mener derfor at eventuelle utslipp av egg fra oppdrettslokaliteter spiller en liten og sannsynligvis uvesentlig rolle som smittekilde.

Forslaget inkluderer imidlertid ikke krav om null utslipp av lakselus generelt. Etter at kopepodittene har infisert en laks holder de seg stort sett på fisken, men et stort tap av mobile lus (preadulte og voksne) kan forekomme ved håndtering av laksefisk i oppdrettssituasjoner som ved trenging og flytting av fisk. Disse kan så infisere nabomerder eller fisk på nærliggende lokaliteter. Siden effektkravet kun krever null utslipp av lakseluslarver og ikke lakselus generelt, kan fisk i en fremtidig miljøteknologitillatelse i prinsippet ha lakselus på fisken på tross av at utslippet av larver er lik null. Det bør derfor overveies om effektkravet også skal omfatte andre stadier av lus (f.eks. forenkles til null utslipp av lakselus), og/eller at hele lokaliteten må ha null-utslipps teknologi.

I høringsnotatet nevnes det at det på sikt kan komme andre løsninger enn tette barrierer for å hindre smitte av lakselus, f.eks. gjennom avl, vaksine eller aktive fôringredienser. Avhengig av teknologien som skal brukes, vil ulike metoder til å overvåke null utslipp eller nær null utslipp være relevante. Ved anlegg eller teknologi som skal forhindre all smitte vil det sannsynligvis være enklest å bruke eksisterende teknologi med telling av lus på fisk, men de forventet veldig lave antall lus per fisk omfattet av disse miljøteknologitillatelser vil kreve at langt flere fisk enn de nåværende må undersøkes. Å telle lus på fisk manuelt gir risiko for stress, skade og påfølgende bakterielle infeksjoner på fisken. Tellingen bør derfor fortrinnsvis skje ved hjelp av undervannskamera og automatisert bildeanalyse, eller lignende.

En alternativ måte for å dokumentere nullutslipp kan være at vann som slippes ut fra anlegget undersøkes for å ekskludere forekomsten av levende lus, mest sannsynlig da ved en form for filtrering utslippsvannet. Eventuell filtrering og undersøkelse av vann vil imidlertid være logistisk krevende også med tanke på dokumentasjon av null utslipp. Mest sannsynlig må da store vannvolumer filtreres gjennom finmasket filter og vannet må undersøkes for forekomst av lakseluslarver. Dette er svært innsatskrevende. Nyere metodikk for dette er utviklet, men ikke testet i kommersiell skala (Thompson mfl. 2022). Alternativt kan materialet fra slik filtre inkuberes og brukes til å smitte test fisk etter utvikling til kopepoditter. Her må inkluderes positive kontroller for å sikre prosedyrefeil som fører til manglende smitte, og vil i praksis være vanskelig å gjennomføre som rutine. Alternativt må metoden som skal brukes i miljøteknologitillatelser dokumenteres og godkjennes i forkant som god nok til helt å utelukke larveproduksjon og/eller utslipp. Dette er imidlertid et scenario som kanskje er mest relevant for en eventuell vaksine/medisin fôr i framtiden.

Vi anser det som sannsynlig at det vil komme løsningsforslag med semi-lukkede anlegg til å produsere laks opp til en gitt størrelse, for deretter å flytte laksen over i åpne merder for videre produksjon frem til slakt. Her er det et alternativ at en istedenfor åpne merder, bruker merder med preventiv teknologi. All preventiv teknologi er imidlertid forbundet med økt kostnad og merarbeid. Det er derfor en utfordring at oppdrettere som bruker preventiv teknologi mot lakselus kan få sitt arbeid sabotert av høye lusetall i naboanlegg og dermed så høyt smittepress at de likevel må avluse. Eksempelvis så kan nedsenkede merder i lange perioder ha tilnærmet null smitte, men så vil det komme en periode med mye omrøring i vannet, og hvis da smittetrykket er høyt vil fisken bli smittet og oppdretter må ta laksen opp for avlusing. Dette er mer kostbart og arbeidskrevende enn i vanlige merder og gevinsten av å bruke forebyggende teknologi forsvinner for oppdretter. Det er også sannsynlig at en ved tilstrekkelig områdesamarbeid om forebyggende teknologi kan få en kumulativ positiv effekt på smittepresset.

Dersom en søker kan sannsynliggjøre at miljøteknologitillatelsen i kombinasjon med andre tiltak på selskapets eksisterende MTB i områder, eventuelt i samarbeid med andre selskap i området, vil gi mindre totale luseutslipp, kan dette eventuelt kvalifisere for innovasjonspoeng.

Konklusjon/oppsummering

Et krav om absolutt nullutslipp er krevende. Selv om det finnes mange løsninger som reduserer lusepåslag er det semi-lukkede anlegg som har kommet lengst i utviklingen for å gi tilnærmet 100% beskyttelse mot lakselus, gitt at en har riktig inntaksdyp av vann ut fra forholdene på lokaliteten. For løsninger som skjørt, snorkelmerder og nedsenkede merder vil det derimot være vanskelig å garantere at det ikke tidvis kan komme høye lusepåslag.

Selv for semi-lukkede anlegg vil det være en viss risiko for lusesmitte hvis vannet ikke filtreres eller behandles. Samtidig er det svært viktig å legge til rette for en havbruksproduksjon med bruk av løsninger som vil minimere utslippet av larver/lus. Vi mener derfor at også teknologier som er bygget for null smitte, men hvor at det likevel eksisterer en liten risiko for at utslipp av lakseluslarver unntaksvis i små mengder bør vurderes som akseptable. Her er det viktig at oppdretter følger opp med nøye overvåking av at det ikke forekommer smitte, fortrinnsvis uten at dette medfører mer håndtering av fisken. Konsekvenser ved enkelte «mindre» overskridelse må vurderes i den endelige forskriften, slik at disse kan behandles på en enhetlig måte

Vedr. Krav om minimum 60 prosent oppsamling av slam (effektkrav)

Kravet om å fjerne minst 60% av slam fra oppdrettsanlegg for laks har blitt lagt inn som et «effektkrav» i de nye foreslåtte miljøtillatelsene. For å muliggjøre overvåking av dette, trenger vi først å vite hvor mye slam som er forventet fra et anlegg (=100% slam), og hvordan vi kan fastslå at minst 60% blir samlet opp. Vi vil gå mer i detalj på disse problemstillingene i de kommende avsnittene.

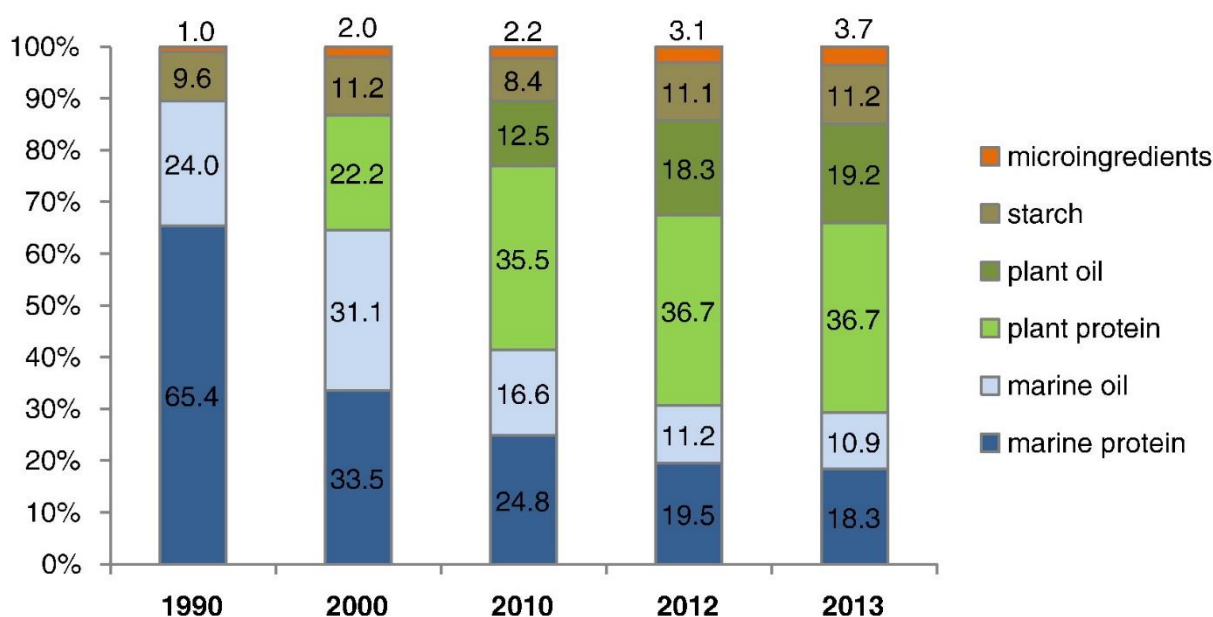
Slamproduksjon og faktorer som påvirker denne

Slam defineres i forskriften som partikkelmateriale fra fekalier og overskuddsfôr. Mens overskuddsfôr begrenses mest mulig, antas det at omtrent 10-15% av fôret forlater merdene før den blir spist. Dette er for å sikre at alle laks har fått nok fôr, også de som holder seg lengre ned i merdene. Mengden fekalier som produseres avhenger av total mengde fôr som blir spist, og fordøyeligheten av fôret (fordøyelighet av tørrstoff i fôret). Fordøyelighet avhenger av sammensetningen av fôringredienser, næringsstoffsammensetning, vanntemperatur, fiskestørrelse og flere andre faktorer (Krontveit mfl. 2014, Ng mfl. 2004).

Aas & Åsgård (2017) regnet ut at den totale årlige produksjonen av slam fra åpne laksemerder i Norge var 535 412 tonn, fordelt på 355 602 tonn fekalier og 179 540 tonn overskuddsfôr (basert på en produksjon på 1,3 million tonn laksefisk). I tillegg var den estimerte produksjonen av slam fra smoltanlegg i ferskvann 10 716 tonn, fordelt på 3948 tonn fekalier og 6768 tonn overskuddsfôr.

Basert på MOM-modellen som er utviklet på HI (Stigebrandt mfl. 2004), er mengden slam produsert (dersom man antar 30% uspist fôr) mellom 300 og 360 kg per tonn laks som produseres med henholdsvis lav- (30% fett, 45% protein) eller høy-energi (45% fett, 30% protein) fôr. Ifølge estimatet til Aas & Åsgård (2017) vil hvert tonn laks produsert i sjøen føre til 410 kg slam, selv om man bruker høyenergi fôr og antar lavere andel uspist fôr enn MOM-modellen. Hovedgrunnen til dette er at fôret har endret seg drastisk siden MOM-modellen ble laget, i forhold til dagens fôr brukt i utrengingene til Aas & Asgard (2017) (figur 1).

Ingredient sources (% of the feed) 1990-2013



Figur 1. Ingredienser i norsk lakseoppdrett fra 1990 til 2013. Hver ingrediensstype er vist som prosent av total diett (figur fra Ytrestøyl mfl. 2015).

Et eksempel på utviklingen av fôret vises i figuren over (figur 1), som tydelig viser betydelige endringer i sammensetningen av ingredienser. Spesifikt har plantebaserte proteiner og oljer erstattet en stor andel av de fiskebaserte produktene i fôret. Endring av fôrsammensetningen har påvirket vekst, fôrfaktor (FCR), fordøyelighet av fôret og næringsstoffene, samt mengde og kvalitet av fekalier (Pratoomyot mfl. 2010, Opstvedt mfl. 2003). Hovedgrunnen til økt mengde slam er økt produksjon av fekalier grunnet redusert fordøyelighet av fôret, som har gått ned fra rundt 85% i fiskemel og fiskeolje-baserte fôr fra 90-tallet (Hillestad mfl. 1999) til rundt 70% med dagens plantebaserte fôr (Aas & Asgard 2017).

Dette viser at estimat for mengde fekalier produsert og mengde uspist fôr kan variere mye mellom ulike anlegg. Derfor kan det være vanskelig å sette et fast tall på hvor mye slam som forventes generert per enhet laks på et anlegg, dvs. Det teoretiske 100% slam.

Hvordan bestemme et realistisk referansepunkt for hva den totale mengden slam produsert vil være (100%) på hvert anlegg

Etter vår mening er det to aktuelle framgangsmåter for å løse utfordringen beskrevet over med å estimere total mengde slam.

1)Definere faste verdier for total mengde slam som forventes produsert per enhet maksimalt tillatt biomasse (MTB) (se tabell 1) ved å tilpasse MOM-modellen og oppdaterte data fra Aas & Åsgård (2017) for mengde fekalier og uspist fôr (estimert til 15%). Med denne framgangsmåten vil det være mulig å vurdere om man oppnår fjerning av minimum 60% av slammet, ved å kvantifisere mengden slam fjernet på hvert anlegg/lokalitet per MTB.

Tabell 1. Faste verdier for fjerning av slam basert på MTB ved lokaliteten, antatt fast mengde uspist fôr. eFCR = økonomisk förfaktor

MTB (t)	eFCR	Fôr brukt(t)	Fekalier (t)	Uspist fôr (%)	Uspist fôr (t)	slam (t)	60% cut-off
1000	1,15	1150	270	15	173	443	266
2000	1,15	2300	540	15	345	885	531
3000	1,15	3450	810	15	518	1328	797
4000	1,15	4600	1080	15	690	1770	1062
5000	1,15	5750	1350	15	863	2213	1328
6000	1,15	6900	1620	15	1035	2655	1593
7000	1,15	8050	1890	15	1208	3098	1859
8000	1,15	9200	2160	15	1380	3540	2124
9000	1,15	10350	2430	15	1553	3983	2390
10000	1,15	11500	2700	15	1725	4425	2655

Begrensningen med denne fremgangsmåten er at man antar konstant mengde uspist fôr uavhengig av teknologi og fôringsstrategi som benyttes på hver lokalitet. I landbaserte anlegg kan uspist fôr stå for 40 til 80% av slammet (Ytrestøyl mfl. 2016), mens i utregningene til Aas & Åsgård (2017) for åpne laksemerder utgjorde uspist fôr 30% av slammet. Store mengder uspist fôr i slammet vil påvirke verdiene for totalt slam produsert og cut-off for 60% fjerning i tabell 1. Dette kan være til fordel for noen og ulempe for andre, avhengig av teknologien som benyttes. For eksempel, om man har høy andel uspist fôr som gir høyere mengde totalslam, vil det være lettere å fjerne 60% eller mer, siden mye av slammet vil bestå av våte fôrpellets som er lettere å samle opp enn fekalier som går lett i oppløsning. På den andre siden vil en produsent som benytter innovativ teknologi for å unngå overføring ha større problemer med å få fjernet 60% av slammet da dette hovedsakelig vil bestå av fekalier. I tillegg, siden slam fjernet regnes i mengde tørrstoff, vil en stor andel uspist fôr i slammet øke tørrstoffprosenten sammenlignet med slam som inneholder mindre uspist fôr. Det er rapportert at mengden tørrstoff i vått slam fra lukkede eller halvlukkede sjøanlegg varierer fra 8 til 25% (Hilmarsen mfl. 2021). Dette variasjonen antas å primært avhenge av mengden uspist fôr, da dette har blitt vist for landbaserte anlegg (Ytrestøyl mfl. 2016). Siden begrunnelsen bak dette effektkravet er å minimere påvirkning av miljøet, burde det vært viktigere å redusere den totale mengden slam enn å fjerne 60% av slammet, da de resterende 40% vil ende opp i miljøet.

Derfor anbefales det å sette en maksgrænse for overføring i slike anlegg, eller ha en variabel skala for 60% fjerning av slam basert på mengde uspist fr (tabell 2).

Tabell 2. Variable verdier for fjerning av slam basert på MTB på 1000 tonn med varierende mengde uspist fr. eFCR= økonomisk frfaktor.

	eFCR	Totalt fr brukt (t)	Fekalier (t)	Uspist fr (%)	Uspist fr (t)	Slam (t)
senario 1	1,15	1150	270	0	0	270
senario 2	1,15	1208	270	5	58	328
senario 3	1,15	1265	270	10	115	385
senario 4	1,15	1323	270	15	173	443
senario 5	1,15	1380	270	20	230	500
senario 6	1,15	1438	270	25	288	558
senario 7	1,15	1495	270	30	345	615
senario 8	1,15	1553	270	35	403	673
senario 9	1,15	1610	270	40	460	730
senario 10	1,15	1668	270	45	518	788

Flaskehalsen her vil være å ha pålitelige estimerer for mengde uspist fr. Selv om det er mulig å be firmaene om data på fôrforbruk og overføring, er det også viktig for overvkningsmyndigheter å verifisere disse dataene.

2) Ved å analysere energi og næringsstoffinnhold i frene og i slammet, er det mulig å estimere mengde uspist fr i slammet som er samlet opp (tabell 3).

Prinsippet bak dette er at fôret er rikere på næringsstoffer enn fekalierne, derfor vil økt andel fr i slammet gi en økning i energi- og næringsstoffinnhold i slammet. Ytrestøyl mfl. (2016) modellerte energiinnholdet i tørket slam fra tre smoltanlegg og anslo at 50% eller mer av slammet var uspist fr. Tilsvarende estimerer kan gjøres hvis nok prøver blir samlet og analysert for å overvåke dette.

Tabell 3. Relativ endring i næringsstoff- og energiinnhold i slammet ved MTB på 1000 tonn ved økende mengde uspist fr.

	Fekalier (t)	Uspist fr (%)	Uspist fr (t)	Slam (t)	Fett i slam (% DM)	Energi i slam (MJ/kg)
baseline	270	0	0	270	3,0	3
senario 1	270	5	58	328	5,1	4,2
senario 2	270	10	115	385	7,2	5,3
senario 3	270	15	173	443	10,8	8,0
senario 4	270	20	230	500	14,4	10,6
senario 5	270	25	288	558	18,0	13,3
senario 6	270	30	345	615	21,6	15,9
senario 7	270	35	403	673	25,2	18,6
senario 8	270	40	460	730	28,8	21,2
senario 9	270	45	518	788	32,4	23,9
senario 10	270	50	575	845	36,0	26,5

Er det mulig å oppnå 60% fjerning?

Ved landbaserte eller RAS-anlegg for regnbueørret, har fjerning av partikler (hovedsakelig fekalier) blitt rapportert til å variere fra så lite som 20% til så mye som 95% (Unger 2013). Dette avhenger blant annet av førsammensetning og vannstrøm. Fôr produsert med en høy andel plantemateriale har lavere stabilitet og dermed er det mulig å fjerne mindre. Bruk av bindere i fôret kan hjelpe på dette. Høy vannstrøm gir også redusert fjerning på grunn av fragmentering av fekalier og at noe av partiklene går over i løst fraksjon (<0,2 mikron).

- HI er positive til oppsamling av slam, spesielt i sjøvannsfasen siden det er store volumer av materiale som kan samles opp. Dersom slammet kan benyttes i annen type produksjon vil det gi en betydelig økning av ressursutnyttelsen og sirkulariteten i lakseoppdrett.
- Estimering av total slamproduksjon på et anlegg gjør det vanskelig å sette nøyaktige verdier for hva som forventes av fjerning. Kunnskapen når det gjelder sammensetning av slam er raskt økende, og HI er med på et større FHF-finansiert prosjekt som skal gjøre en bred screening av sammensetning av slam i 2022.
- Det må også vurderes om 60% skal være basert på hele produksjonssyklusen eller om det skal være 60% oppsamling av slam i alle deler av produksjonen. Dette har konsekvenser for hvordan oppsamlingen kan overvåkes.
- I de første årene anbefaler vi ikke et strengt regime for fjerning av slam, bortsett fra kravet om å ha et system for fjerning av slam, og deretter kan flere krav gradvis fases inn etter hvert som mer data er tilgjengelig og et system for overvåkning er på plass.

Oppnåelse av reduserte miljøeffekter

Generelt er hovedmålet bedret miljøtilstand, hvilket primært betyr reduserte effekter på havbunnen under oppdrettsanleggene. Siden vi ikke har pålitelig informasjon om nivå av overføring (% uspist fôr), og siden dette har stor betydning og kan variere mye mellom ulike anlegg, er det viktig å kombinere arbeid med å se på miljøeffekter med målinger av fettinnhold i slammet. Det er svært viktig å måle den faktiske miljøpåvirkningen, da slam med lavt fettinnhold vil ha en ulik effekt enn slam med et relativt høyt fettinnhold. Disse resultatene kan brukes til å gi informasjon om det relative bidraget av fôr og fekalier til slammet, samt å bedre forstå konsekvensene for bentiske arter.

For å gjøre pålitelige sammenligninger av miljøeffekter (f. Eks. Før og etter implementering), anbefaler vi å bruke en rekke etablerte bentiske indikatorer, som de som brukes i C-undersøkelsene (makrofauna-baserte indikatorer), men inkludert frie sulfider. Sammenligninger kan gjøres mellom anlegg med tilsvarende biomasser som er lokalisert i sammenlignbare miljøer (dybde og hydrodynamikk). Kostnaden ved å gjøre dette vil være betydelig, og det er antakelig mer fornuftig å inkludere dette i regionale eller nasjonale forskningsprogrammer heller enn å kreve det fra oppdretterne.

Det bør være mulig å predikere miljøpåvirkningen av reduserte utslipp av slam ved å bruke etablerte modeller. Imidlertid er det usikkerheter rundt den faktiske fysiske sammensetningen av partiklene, siden dette antakelig vil påvirkes av prosessene som benyttes for oppsamling av slam og utslipp. Det er sannsynlig at de større partiklene lettere vil bli samlet opp (eller oppdelt) og at utslippet på lokaliteten vil inneholde en økt andel av de finere partikler med andre fysiske egenskaper enn på tradisjonelle anlegg. Faktorer som hvor raskt partikler legger seg på bunnen

og hvor lett de virvles opp igjen, vil være viktige i spredningsmodellen. Derfor anbefales det at de fysiske egenskapene til utslippet måles og at de første evalueringene av dette brukes til å validere modellprediksjonene av utslipp fra denne type for å vurdere kost-nytte for ulike fremtidige scenarier.

Det er også usikkerhet rundt hvor konsentrert næringsstoffene vil være i den løste delen av slammet. For øyeblikket legges det lite vekt på å overvåke eutrofiering i vannsøylen rundt oppdrettsanlegg i sjø, fordi det gjentatte ganger har blitt vist at dette normalt ikke er noe problem. Dersom konsentrasjonen av næringsstoffer i utslippet øker kraftig og måten det blir sluppet ut på endres (f. Eks. Punktutslipp versus diffust utslipp over et større område), bør man gjøre undersøkelser av miljøkvalitet i vannsøylen i de tidlige fasene av produksjonen. Disse resultatene kan også benyttes i modeller for vannsøylemiksing og spredning.

Spesifikke anbefalinger for å vurdere miljøeffekt av reduserte slamutslipp

Et overordnet mål ved å redusere mengden slam som blir sluppet direkte ut i miljøet er å oppnå en bedre miljøtilstand ved anlegget og dette bør være mulig å måle og dokumentere.

Vi anbefaler at dette oppnås gjennom to prosesser: 1) at selskapet som drifter anlegget er ansvarlige for ekstra miljøundersøkelser, 2) en evaluering av resultatene fra overvåkingen foretas etter flere års drift og sammenlignes med andre tradisjonelle sjøanlegg med samme biomasse som er plassert under lignende topografiske og hydrografiske forhold. Dette kan gjøres med følgende anbefalte spesifikke miljøundersøkelser:

- Ved C-undersøkelser som er påkrevd i forkant av oppstart av anlegget anbefaler vi at det etableres minst to prøvepunkt like ved anlegget (omtrent 10-30 meter fra merdkant) både oppstrøms og nedstrøms fra anlegget (avhengig av dominerende strømretninger). Disse to nærsone-stasjonene bør kontinuerlig overvåkes med vanlige parametere ved regulære C-undersøkelser.
- Disse undersøkelsene kan inkludere målinger av frie sulfider etter metodebeskrivelse i Cranford mfl. (2011).
- Overvåking av næringssalter og effekter på planteplanktonproduksjon/ artssammensetning og makroalgesamfunn bør overvåkes etter gjeldende standarder i området nær utslippspunktet

Evalueringsundersøkelser etter flere års drift

- Når anlegget har vært i drift i fem år bør det gjøres en evaluering av resultatene der man sammenligner med resultater fra nærsonen ved tre vanlige anlegg med lik MTB som er plassert under lignende fysiske og hydrografiske forhold.
- Vurdering av miljøtilstand ved anlegget bør komplementeres med uttak av mindre prøver av slammet for å analysere fettinnhold og fettsyresammensetning.
- De fysiske egenskapene til slammet (partikkelstørrelse og tetthet av partikler) bør måles i på anlegget på ulike tidspunkt gjennom produksjonssyklusen.
- Resultatene bør kunne brukes til å forbedre og validere eksisterende utslippsmodeller så de kan brukes til å forutsi nytten av slike innovasjoner.
- Det anbefales at denne evalueringsstudien finansieres av næringen for å få bedre kunnskap om miljøeffekten av reduserte utslipp og få gode data på spredning av utslipp fra denne type anlegg.

Vedr. prekvalifiseringskrav fiskevelferd

Som nevnt i høringsbrevet så er det et omfattende regelverk som skal beskytte dyrevelferd i akvakultur. I intervjuer og spørreundersøkelser med næringen har vi imidlertid fått tilbakemelding på at mange av kravene oppfattes som uklare og at de dermed ofte blir skjøvet i bakgrunnen for mer konkrete regler, teknologiske begrensninger og økonomi (Medaas mfl. 2022, Størkensen mfl. 2021, Stien mfl. 2020). Her ligger antagelig mye av forklaring bak at flere av konstruksjonene fra tidligere runder ble designet på måter som bl.a. Mattilsynet mener gjør det vanskelig å ivareta dyrevelferden.

Et av de mer konkrete kravene i regelverket som skal sikre gode forhold for fisken er §22 i Akvakulturdriftsforskriften som sier: «Vannmengden, vannkvalitet, vanngjennomstrømningen og strømhastigheten skal være slik at fisken har gode levekår, basert på fiskens art, alder, utviklingstrinn, vekt og fysiologiske og atferdsmessige behov». Men også her er det stort rom for tolkning. På den andre side er det heller ikke alltid gunstig med konkrete grenser, da disse kan bli sett på som «mål» istedenfor absolutte minimum/maksimum. Videre så kompliseres konkrete krav fort med at effekt på dyrevelferd er multifaktoriell og svært kompleks. Oksygennivå som går bra for en situasjon kan være dødelige i andre. Som tommelfinger regel har en derfor i FISHWELL-håndbøkene (Noble mfl. 2018, 2020) satt en nedre grense på 80% oksygenmetning, da dette er et nivå som vil gi fisken nok oksygen selv under ekstremt stress.

Vi anbefaler at det på bakgrunn av de kravene som står i Akvakulturdriftsforskriften stilles konkrete prekvalifiseringskrav som med god margin skal sikre fiskevelferd. Søker bør her gjennomføre en risikoanalyse av alle deler av systemet, både med hensyn på direkte belastninger på fisken og muligheter for teknisk svikt og belastninger under ekstremvær, m.m. Det må legges inn backup-systemer og alarmer som kan forhindre fare for liv og helse ved teknisk svikt, som for eksempel pumpestans. I tilfeller hvor følgene av en gitt sannsynlig risikofaktor ikke er kjent fra eksisterende litteratur bør det utføres forsøk for å belyse dette før en går videre med teknologien.

Et aktuelt eksempel er termisk avlusing hvor det ikke var vurdert hvorvidt behandlingen ville oppleves som smertefull for fisken og hvilke følger dette ville kunne få før teknologien ble tatt i bruk av næringen (Nilsson mfl. 2019). En bør også være oppmerksom på at selv om teknologi er grundig belyst med lovende resultat i både de små- og mellomskalaforsøk, og/eller utprøvinger, så er det mulighet for at svakheter og risikoelementer ved teknologien likevel ikke er avdekket. Et eksempel på dette er triploid laks hvor små- mellomskalaforsøk viste at triploid laks klarte seg like godt, og noen ganger bedre enn diploid laks, men hvor praktisk erfaring under industrielle forhold har vist at triploid laks har meget store velferdsutfordringer (Stien mfl., 2019, 2021ab).

Det at svakheter ikke blir avdekket i små og mellomskalaforsøk har mange forklaringer. For det første vil det alltid være vanskelig eller umulig å gjenskape alle mulige kombinasjoner av utfordringer laks i kommersielt oppdrett vil kunne bli utsatt for. Både i form av diverse håndteringsprosedyrer i storskala (ikke bare noen få hundre eller tusen fisk, men flere titusentusen til hundretusener på en gang), patogener og kombinasjoner av patogener, det totale komplekse miljøet i en stor oppdrettsenhet vs. en liten osv. Videre skal en ikke være blind for at dagens publiseringssystem favoriserer positive resultat, og at «mislykkede» forsøk der teknologien ikke virket som tenkt gjerne blir liggende i skrivebordsskuffen. Dette blir ytterligere forsterket siden det i mange tilfeller kan finnes større eller mindre grad av egeninteresse i å oppnå positive resultat. Dette kan både gi utslag i at en har svært stort fokus på å gjøre alt rett, kanskje til en grad som ikke vil være mulig å opprettholde under kommersielle

forhold, og også at en vil bortforklare negative resultat. Triploid laks er her igjen et godt eksempel, hvor det i de første årene med kommersiell utprøving ofte var lett å peke mot spesielle hendelser i produksjonen som forårsaket skader og sårutvikling på fisken, mens en etter som stadig flere grupper med triploid laks fikk høy dødelighet måtte spørre seg hvorfor det nesten alltid var den triploide fisken som var «uheldig» og ikke de diploide referansegruppene (Stien mfl. 2019, 2021ab).

Selv om det generelt var lovende resultat fra forsøk, var det også kritiske stemmer mot triploid laks i forbindelse med utdelingen av de grønne tillatelsene, blant annet Mattilsynet. Dette illustrerer at det kan være nyttig å få innspill fra Mattilsynet, samtidig så vil en slik vurdering nødvendigvis ofte bare være en kunnskapsbasert gjetning. Mange av de nye teknologiene som nå promoteres, f.eks. semi-lukkede merder, har stort potensiale for å fungere godt og gi fisken god velferd gjennom hele produksjonen. Samtidig så er dette system som er svært avhengig av at teknologien hele tiden virker som den skal og at det ikke oppstår noe uventet. I dagens åpne merder ordner f.eks. sjøens naturlige strømmer at det hele tiden skiftes ut vann og det er som regel variasjon i vannkvalitet fra topp til bunn av en merd.

I semi-lukkede og lukkede system er miljøet mer homogent og det pumpes typisk inn vann fra kun ett dyp som all fisken i merden så blir utsatt for. I tilfeller hvor det blir pumpet inn vann av lav kvalitet eller med farlige patogener, eller det blir frigjort skadelige partikler (f.eks. nesleceller fra hydroider) i forbindelse med vask av merdveggen, har fisken ingen steder å rømme. Konsekvensene ved uønskede hendelser er altså potensielt mye større i semi-lukkede og lukkede merder enn i åpne merder. En kan lett se for seg en situasjon hvor 9 av 10 produksjoner går svært bra, men 1 av 10 har katastrofale velferdsutfordringer, og at årsaken til at det går galt ikke nødvendigvis er den samme for hver gang. Den eneste måten å avdekke slike relativt sjeldne risikoer, men kanskje totalt sett for ofte, er grundig dokumentasjon over lang tid, gjennom mange produksjoner på ulike lokaliteter. Hvis det er noen få årsaker som gjentar seg kan teknologien forbedres og ha en fremtid, men hvis det er stadig nye årsaksforhold tyder det på at det er teknologien i seg selv som ikke er robust nok til kommersiell drift.

I sum mener vi derfor at det bør utarbeides prekvalifiseringskrav for fiskevelferd basert på de kravene som allerede finnes i Akvakulturdriftsforskriften. Disse kravene bør være konkrete og settes slik at de sikrer velferd med god margin. Søker bør også ha gjennomført en grundig risikoanalyse og hvis nødvendig gjennomført småskala og mellomskalaforsøk for å avdekke eventuelle svakheter og/eller vise at laksen tåler godt det den vil bli utsatt for.

Det er også svært viktig med grundig oppfølging og dokumentasjon av tillatelsen og teknologien når den kommer i drift. Dette for å avdekke om teknologien også er velferdsforsvarlig under store forhold i normal drift. Her er det en fordel at det innenfor hver teknologi er flere tillatelser på ulike lokaliteter, slik at det i løpet av kort tid kan komme inn «stresstest» av teknologien under ulike forhold og eventuelle svakheter med teknologien blir funnet og utbedret så tidlig som mulig.

Ved at mange oppdrettere prøver ut samme / lignende teknologi kan en sikre at en ikke tilfeldigvis får en suksesshistorie for en teknologi, og tilfeldigvis en katastrofehistorie for en annen, selv om begge kanskje i virkeligheten har 90 % sjans for å lykkes ved hvert utsett. Det er derfor ikke nok med kun prekvalifisering. En må også samle opp data systematisk over tid, og gjennomføre årlige evalueringer på om dette er en teknologi som fungerer, har problemer, men kan forbedres, eller som sannsynligvis aldri vil kunne bli robust nok til å sikre laksen akseptabel velferd.

Vedr. Tidsrammer

Passivitetskrav

Det bør inkluderes et passivitetskrav ut fra ønsket om at ordningen skal igangsettes som et ledd i å gjøre oppdrett mer bærekraftig, og siden ordningen er begrenset i omfang. HI har ingen faglig råd om krav til tid før oppstart. Det vil imidlertid være mulig at noen virksomheter vil benytte begrenset oppstartsbiomasse i en eller flere pilotproduksjoner for bruk av ny teknologi og/eller lokalitet, og siden teknologien vil måtte være tilpasset lokalitet (vannkvalitet, vær og vind, omrøring av vannmaser etc.).

Tidsramme varighet

Kommersialisering av nye driftsformer er alltid beheftet med usikkerhet og risiko og det er avgjørende å ha overvåking og kontrollmekanismer som løpende kan fange opp kritiske driftsavvik. Digital overvåking vil være nødvendig for å måle og dokumentere de strenge krav som miljøtillatelsene krever, først og fremst med hensyn på måling av lave lusetall. Det bør inkluderes klare kontrollmekanismer for å reagere på avvik og i ytterste fall trekke en tillatelse tilbake dersom virksomheten ikke overholder vesentlige forhold i vilkårene for tillatelsen eller ikke oppfyller vesentlige krav i regelverket. Det er viktig at det er en helt klar forståelse rundt kravene som er satt til tillatelsen fra virksomheter og forvaltning, samt tillatelige avvik og krav til respons på disse. På den annen side er ordningen beheftet med store investeringer i teknologi, infrastruktur og endringer i drift slik at langsiktighet er påkrevd for at aktører skal være villige til å søke slike tillatelser.

Referanser

- Barrett, L., Oppedal, F., Robinson, N., Dempster, T., 2020. Prevention not cure: a review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 12, 2527-2543.
- Bui, S., Oppedal, F., Nola, V., Barrett, LT. 2020b. Where art thou louse? A snapshot of attachment location preferences in salmon lice on Atlantic salmon hosts in sea cages. *Journal of Fish Diseases* 43, 697-706.
- Cox, R., Groner, M., Todd, C. D., Gettinby, G., Patanasatienkul, T., and Revie, C. 2017. Mate limitation in sea lice infesting wild salmon hosts: the influence of parasite sex ratio and aggregation. *Ecosphere*, 8: e02040.
- Cranford, P., Brager, L., Elvines, D., Wong, D., Law, B., 2020. A revised classification system describing the ecological quality status of organically enriched marine sediments based on total dissolved sulfides. *Marine Pollution Bulletin* 154, 111088.
- Eisenhauer, L., Solvang, T., Alver, M., Franklin Krause, D., and Hagemann, A. 2020. Dispersal of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer, 1837) egg strings from open-cage salmon farming: A neglected source for infestation dynamics. *Aquaculture Research*, 51: 4595-4601.
- Hillestad, M., Åsgård, T., Berge, G.M., 1999. Determination of digestibility of commercial salmon feeds. *Aquaculture* 179, 81–94. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00154-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00154-4)
- Krontveit, R.I., Bendiksen, E.Å., Aunsmo, A., 2014. Field monitoring of feed digestibility in Atlantic salmon farming using crude fiber as an inert marker. *Aquaculture* 426–427, 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.02.015>

- Medaas, C., Lien, M.E., Gismervik, K., Kristiansen T.S., Osmundsen, T., Størkersen, K.V., Tørud B., Stien, L.H. 2022. Minding the Gaps in Fish Welfare: the untapped potential of fish farm workers. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 34: 1-22.
- Ng, W., Sigholt, T., Gordon Bell, J., 2004. The influence of environmental temperature on the apparent nutrient and fatty acid digestibility in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed finishing diets containing different blends of fish oil, rapeseed oil and palm oil. *Aquac. Res.* 35, 1228–1237.
- Nilsson, J., Moltumyr, L., Madaro, A., Kristiansen, T.S., Gåsnes, K.G., Mejdell, C.M., Gismervik, K., Stien, L.H. 2019. Sudden exposure to warm water causes instant behavioural responses indicative of nociception or pain in Atlantic salmon. *Veterinary and Animal Science* 8: 100076.
- Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M.H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L.H., Turnbull, J.F. (eds), 2018. *Welfare Indicators for farmed Atlantic salmon: tools for assessing fish welfare*, ISBN 978-82-8296-556-9, 351pp. (Også tilgjengelig på norsk)
- Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M.H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L.H., Turnbull, J.F. (eds), 2020. *Welfare Indicators for farmed rainbow trout: tools for assessing fish welfare*, ISBN 978-82-8296-620-7, 310p. (Også tilgjengelig på norsk)
- Oppedal, F., Stien, L.H., Bui, S., Oldham, T., Barrett, L., 2022. Physical prevention control of sea lice (Chapter 22), In: Treasurer, J., Bron, J., Bricknell, I. (Eds.), *Sea lice biology and control*. 5M Publishing (in typesetting)
- Opstvedt, J., Aksnes, A., Hope, B., Pike, I.H., 2003. Efficiency of feed utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with increasing substitution of fish meal with vegetable proteins. Stigebrandt, A., Aure, J., Ervik, A., Hansen, P.K., 2004. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling–Ongrowing fish farm–Monitoring system. *Aquaculture* 234, 239–261. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.029>
- Pratoomyot, J., Bendiksen, E.Å., Bell, J.G., Tocher, D.R., 2010. Effects of increasing replacement of dietary fishmeal with plant protein sources on growth performance and body lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 305, 124-132.
- Samsing, F., Johnsen, I., Stien, L.H., Oppedal, F., Albretsen, J., Asplin, L., Dempster, T. 2016. Predicting the effectiveness of depth-based technologies to prevent salmon lice infection using a dispersal model. *Preventive Veterinary Medicine* 129: 48-57.
- Stien, L.H., Sambras, F., Kristiansen, T., Fjellidal, P.G., Sæther, P.A., Martinsen, L. 2021. Tredje samlerapport: Velferd for triploid laks i Nord-Norge - Sluttrapport, utsett 2019. Rapport fra havforskningen 2021-44 ISSN: 1893-4536
- Stien, L.H., Sambras, F., Sæther, P.A., Lind, M.B., Kristiansen, T.S., Nilsson, J., Fjellidal, P.G. 2021. Andre samlerapport: velferd for triploid laks i Nord-Norge - Sluttrapport, utsett 2018. Rapport fra havforskningen 2021-13 ISSN: 1893-4536
- Stien, L.H., Sæther, P.A., Kristiansen, T.S., Fjellidal, P.G., Sambras, F., 2019. Første samlerapport: Velferd for triploid laks i Nord-Norge - Fra utsett til slakt, utsett 2014-2017. Rapport fra havforskningen 2019-47 ISSN: 1893-4536.
- Stien, L.H., Tørud, B., Gismervik, K., Lien, M.E., Medaas, C., Osmundsen, T., Kristiansen, T.S., Størkersen, K.V. 2020. Governing the welfare of Norwegian farmed salmon: Three conflict cases. *Marine Policy* 117: 103969.
- Stormoen, M., Skjerve, E., and Aunsmo, A. 2013. Modelling salmon lice, *L. epeophtheirus salmonis*, reproduction on farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 36: 25-33.

- Størkersen, K.V., Osmundsen, T.C., Stien, L.H., Medaas, C., Lien, M.E., Tørud, B., Kristiansen, T.S., Gismervik, K. 2021. Fish protection during fish production. Organizational conditions for fish welfare. *Marine Policy* 129: 104530.
- Thompson, C. R., Bron, J. E., Bui, S., Dalvin, S., Fordyce, M. J., á Norði, G., et al. 2022 (in production). A novel method for the rapid enumeration of planktonic salmon lice in a mixed zooplankton assemblage using fluorescence. *Aquaculture Research*.
- Unger, J., 2013. Feed and treat: What to expect from commercial diets. *Aquac. Eng.* 11.
- Witkowski, S.J., 2019. Development and assessment of novel endogenous markers in commercial aquafeeds to measure apparent digestibility in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) on salmon farms 7.
- Ytrestøyl, T., Aas, T. S. and Åsgård, T. (2015) 'Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway', *Aquaculture*, 448, pp. 365-374.
- Aas, T., Åsgård, T. 2017 Estimert innhold av næringsstoff og energi i førspill og faeces fra norsk lakseoppdrett. Technical report, Nofima, 2017.