ANNE LIE
Tidligere master-student, Handels-høgskolen, Universitetet i Stavanger

MAIKEN TJORA
Tidligere master-student, Handels-høgskolen, Universitetet i Stavanger

HENRIK LINDHJEM
Menon Senter for Miljø- og Ressurs-økonomi (MERE), Oslo Norsk institutt for naturforskning (NINA)

STÅLE NAVRUD
Handelshøyskolen, Norges Miljø- og Biovitenskaplige Universitet (NMBU)

MARGRETHE AANESEN
Samfunns og næringslivsforskning (SNF), Norges Handelshøyskole

GORM KIPPERBERG
Handelshøgskolen, Universitetet i Stavanger

Kostnader og nytte ved miljøtiltak i norsk lakseoppdrett[1]

Lakseoppdrett er en viktig næring i Norge og det er et politisk ønske om økt vekst. For at veksten skal være bærekraftig er det flere miljøutfordringer som må løses. Vi diskuterer de viktigste, og analyserer kostnader og nytte ved tiltak og teknologier som kan redusere dem. Analysen viser at flere tiltak som oppdrettsnæringen i dag ikke tar i bruk trolig kan være privatøkonomisk lønnsomme. Mer omfattende tiltak i større skala, særlig lukkede anlegg i sjø og på land samt «havbruk til havs», er relativt kostbare og trolig verken privatøkonomisk eller samfunnsøkonomisk lønnsomme i dag, med mindre økt satsing på FOU, utprøving og volum kan redusere kostnadene betydelig.

INNLEDNING

Med en produksjon på 1,39 millioner tonn atlantisk laks i 2020 til en verdi av rundt 64,9 milliarder kroner er Norge verdensledende produsent og eksportør av laks (Fiskeridirektoratet, 2021a; 2021b). Produksjon av laks er en viktig ressurs for Norge og det er et politisk ønske om å øke satsingen på oppdrett for å øke antall arbeidsplasser og verdiskapingen i kystsamfunn og nasjonalt. Regjeringen har for eksempel nettopp lagt fram en strategi for havbruksnæringen (Nærings- og fiskeridepartementet, 2021). Bærekraftig videre vekst vil kreve betydelige investeringer i FoU, innovasjon og fullskala kommersielle anlegg for å håndtere

[1] Artikkelen er utarbeidet med støtte fra Forskningsrådsprosjektene COAST-BENEFIT (NFR #255777) og MarES (NFR #267834), og er basert på Lie og Tjora (2020). Takk til Oddbjørn Grønvik og Leo Grünfeld, Menon Economics, for gode innspill.

både eksisterende og nye utfordringer relatert til biologi og det ytre miljøet (Misund mfl., 2019; Hersoug mfl., 2021). Særlig må utfordringene knyttet til negative miljøvirkninger løses (Nærings- og fiskeridepartementet, 2014; 2021).

Konvensjonelt oppdrett påvirker i varierende grad omgivelsene rundt. Lakselus og rømming av oppdrettslaks er blant de største miljøutfordringene for oppdrettsnæringen og fører til negativ påvirkning på villaks (Miljødirektoratet, 2020). For første gang havnet villaksen på Artsdatabasens rødliste og kategoriseres som nær truet i 2021 (Hesthagen mfl., 2021). Det er også andre negative eksterne virkninger. Større satsing på FoU av teknologi som forebygger lusepåslag og andre miljøvirkninger vil kunne gi stort utbytte for næringen framover. Et skifte fra behandling til forebygging av miljøutfordringene vil derfor være viktig. Alternative produksjonsmetoder som forebyggende tiltak kan kreve risikable investeringer og produksjonskostnadene kan bli høye sammenlignet med konvensjonell teknologi (Iversen mfl., 2015; Misund mfl., 2019). Likevel kan slike forebyggende tiltak bli lønnsomme ved at tiltakene på sikt gir lavere behandlingskostnader og andre kostnader ved å håndtere miljøutfordringer i dag, samtidig som produsentene kan kapitalisere på potensielt økt bærekraftinteresse blant forbrukere gjennom økte priser.

Så vidt oss bekjent, finnes det ingen studier som sammenligner nytteverdier og kostnader av å redusere miljøproblemer i lakseoppdrett i Norge på nasjonalt nivå (Aanesen og Mikkelsen, 2020). I denne artikkelen diskuterer vi de viktigste miljøutfordringene og utarbeider, for første gang, en såkalt marginal tiltakskostnadskurve for alternative tiltak med teknologier som kan redusere tre hovedproblemer; lakselus, genetisk forurensning og utslipp til havbunnen. Metodikken vi bruker er basert på tilsvarende analyser for klimatiltak (se McKinsey & Company, 2009; Miljødirektoratet mfl., 2020). Vi diskuterer deretter størrelsesorden på nytten av å redusere miljøproblemene, med vekt på den norske befolkningen. Analysen er basert på gjennomgang av eksisterende litteratur om renseteknologi, miljøtiltak og -nytteverdi forbundet med reduserte negative eksterne miljøvirkninger. Vi har også gjennomført et mindre antall egne kvalitative intervjuer av interessenter med kjennskap til næringen og dens utfordringer for bedre å forstå hvorfor enkelte tiltak, som kan se ut til å være privatøkonomisk lønnsomme, ikke tas mer i bruk.

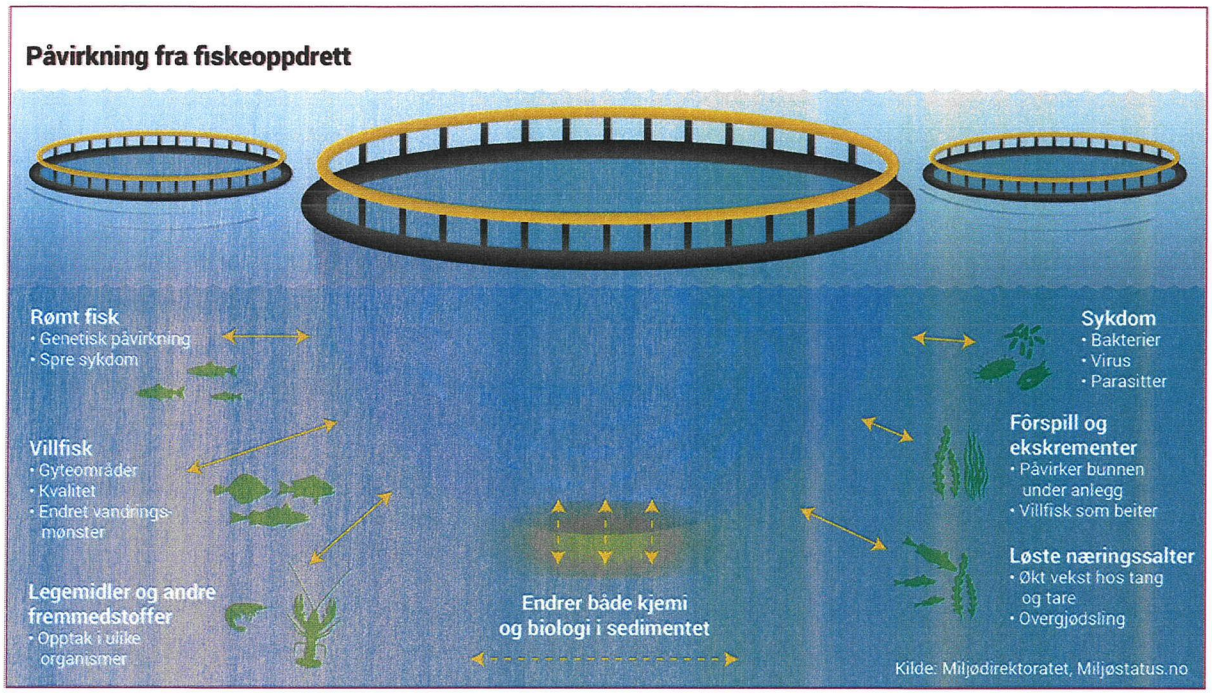
MILJØUTFORDRINGER I LAKSEOPPDRETT

Effekter på ville laksebestander

De største miljøutfordringene i lakseoppdrett er trolig effekter på ville laksebestander og utslipp av partikulært organisk materiale (Asche og Bjørndal, 2011). Skade på merd og hull i nøter er hovedårsaken til at oppdrettslaks rømmer og blandes sammen med ville laksebestander (Jensen mfl., 2010). Den naturlige veksten og den økonomiske verdien av villaks påvirkes gjennom konkurranse, predasjon, kolonisering og spredning av sykdom og parasitter. De mest betydelige virkningene er overføring av sykdom og krysning av gener. Oppdrettslaks er rapportert som mer aggressive og risikosøkende, og vil potensielt true den opprinnelige laksebestanden (Olaussen, 2018). Lite genetisk variasjon vil også svekke overlevelsesraten til avkom fra villaksen. Rømt oppdrettslaks kan øke lusetettheten ved å spre lakselus til villaks og effektene vil være avhengig av antall rømte laks. Alvorlighetsgraden stiger med antall rømminger (Olaussen, 2018). Parasitten lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) finnes naturlig i alle nordlige havområder. Lusen påfører skade ved å spise hud, slim og blod, og ved å bevege seg på laksens hudoverflate. Angrepene fører til redusert vekst, forstyrrelser i laksens saltbalanse, og den blir mer utsatt for andre sykdommer samt som bytte for andre dyr. Det antas at fire til fem lus på utvandrende laksesmolt medfører fysiologiske endringer, og ni til elleve lus er dødelig. Høy konsentrasjon av lakselus skyldes høy tetthet av anlegg, og har ført til høy produksjon av luseegg og -larver som spres i sjøen hele året (Havforskningsinstituttet, 2020; Miljødirektoratet, 2019a).

Utslipp av partikulært organisk materiale

Utslipp av partikulært organisk materiale består hovedsakelig av ekskrementer og fôrspill. Miljøpåvirkningen er størst rett under og i nærheten av hvert enkelt merdanlegg. Oppsamlede ekskrementer og uspiste pellets skader og forstyrrer den lokale faunaen, og økt avfall resulterer i at den naturlige nedbrytningskapasiteten til havbunnen reduseres. Nedslamming og begroing utgjør også en risiko for fisk og andre organismer som befinner seg nær anleggene (Nærings- og fiskeridepartementet, 2018). Utslipp av partikulært organisk materiale har betydelig påvirkning for balansen mellom vekst og erosjon for kaldtvannskoraller, og fører til ødeleggelser av korallrev (Husa mfl., 2016). Effekter kan også oppstå lengre unna anleggene på grunn av vannbevegelse og bunnforhold. Spredningen av materialet avhenger av dybde, vannstrøm, synkehastighet og oppløsning. Områder med god vannkvalitet og -utskiftning vil ofte ha mindre effekt fra partikulært organisk materiale. På den annen side kan den totale belastningen bli stor i områ-



Figur 1: *Miljøpåvirkning fra oppdrett av laks. Hentet fra Miljødirektoratet (2020).*

der der de naturlige forholdene ikke er like gunstige (Nærings- og fiskeridepartementet, 2018). Dyp og strømhastighet langs den norske kysten og i fjordene er varierende, og plassering av oppdrettsanleggene er avgjørende. Lokaliteter lengre inn i fjordene er i større grad assosiert med overbelastning på havbunnen sammenlignet med anlegg som ligger mer åpent langs kysten (Husa mfl., 2016). Strømforholdene langs kysten er sterkere og øker tilgjengeligheten av oksygen som er nødvendig for nedbrytning av det partikulære organiske materialet. Vannbevegelsene i de dypere vannlagene forårsaker også større spredning av ekskrementer og fôrspill enn i de øvre vannlagene (Asche og Bjørndal, 2011).

Andre miljøutfordringer

Bruk av kobber og ulike legemidler påvirker dyre- og plantelivet på havbunnen, samt krepsdyr i nærheten av oppdrettsanleggene (Miljødirektoratet, 2020). Under fiskens metabolisme dannes det uorganiske næringssalter som består av nitrogen og fosfor. Økt mengde løste næringssalter i kystvannet resulterer i overgjødsling med påfølgende økt produksjon av plante- og dyreplankton. Dette kan medføre store negative endringer i økosystemet ettersom oksygenkonsentrasjonen i bunnvannet reduseres (Grefsrud mfl., 2019). Atferdsmønsteret til ville sjøørretbestander endres på grunn av angrep fra lakselus. Sjøørreten vandrer tidligere tilbake til elva for å gyte enn det som anses som normalt. Kortere oppholdstid i sjøen er uheldig for ørreten da det påvirker vekst og forplantningsdyktighet (Miljødirektoratet, 2019a). Oppdrettsanlegg kan fysisk og ved utslipp forhindre kysttorsken å returnere til sitt gyteområde. Torsken er trofast og stedbunden til gytegrunnen, men på grunn av oppdrettsnæringen og oppdrettslaksens nærvær vil gyteområdene være utilgjengelige (Husa mfl., 2016).

Det er også verdt å påpeke at kystsonen bidrar med store verdier for både lokalbefolkningen og tilreisende. Noen av verdiene vil ha markedspriser, mens mange vil typisk være ikke-markedsgoder. Oppdrettsanlegg langs kysten påvirker landskapet visuelt og kan redusere opplevelseskvaliteter rent estetisk for fastboende og tilreisende (Aanesen mfl., 2018). Kystlandskapet kan også lyd- og lysmessig påvirkes av oppdrett. Videre kan ferdsel og utøvelse av friluftsliv bli begrenset. Ferdels- og fiskeforbudet er på henholdvis 20 meter og 100 meter fra oppdrettsanleggene, og kan være uheldig dersom areal til oppdrett allerede brukes av andre grupper (Gullestad, 2011). De mest sentrale miljøutfordringene fra oppdrettsnæringen oppsummeres i Figur 1. Alle disse har ulike påvirkninger på økosystemtjenester, eller naturgoder, fra kyst- og havområder (NOU 2013: 10).

DAGENS REGULERINGER

Produksjons- og utviklingstillatelse

For å drive kommersielt oppdrett av laks i Norge kreves det en ordinær tillatelse fra Nærings- og fiskeridepartementet. Tillatelsene betegnes med *maksimalt tillatt biomasse* (MTB). MTB bestemmer hvor mye levende fisk, målt i tonn, innehaveren av tillatelsen kan ha stående i sjøen til enhver tid. En tillatelse til produksjon av laks er vanligvis mellom 780–1000 tonn MTB, og det finnes omtrent 1000 tillatelser i Norge i dag (Fiskeridirektoratet, 2016a). Det bør nevnes at tillatelse gis uten tidsbegrensning. I tillegg kreves det en godkjent «lokalitet», som er betegnelsen som brukes på det fysiske stedet hvor det er tillatt å drive oppdrett. Miljøavdelingen hos fylkesmannen i samarbeid med Mattilsynet bestemmer om lokaliteter blir godkjent for MTB etter vurdering av lokalitetens bæreevne (Miljødirektoratet, 2020).

Nærings- og fiskeridepartementet foreslår en ny tillatelsesordning med strenge miljøkrav for å oppnå en mer bærekraftig vekst i lakseoppdrett. Forslaget innebærer null utslipp av egg og frittsvømmende stadier av lakselus, oppsamling av minimum 60 prosent slam, og krav til rømningssikkerhet. En slik tillatelsesordning vil gi vesentlige muligheter for å øke produksjonen (Knudsen, 2021). For oppdrettere med konsepter under utvikling og utprøving tildeles det forsknings- og utviklingstillatelser, også kalt utviklingstillatelser. Tillatelsen gjelder prosjekter med betydelig innovasjon og investeringer for å utvikle teknologi som bidrar til å håndtere miljø- og arealutfordringer (Mikkelsen, 2019). Utviklingstillatelse gis midlertidig og uten vederlag for inntil 15 år om gangen. Utviklingstillatelser kan konverteres til ordinære tillatelser etter endt prosjekttid. Ved konvertering betaler oppdretter et vederlag på 10 millioner kroner per utviklingstillatelse.

Trafikklyssystemet

I 2017 innførte Nærings- og fiskeridepartementet «*Forskrift om kapasitetsjustering og tillatelser til akvakultur ved matfisk i sjø*» (trafikklyssystemet) som et resultat av høy konsentrasjon og spredning av lakselus på ville laksebestander. Systemet brukes som en miljøindikator for å justere produksjonskapasiteten til de ulike produksjonsområdene. Kysten deles inn i 13 produksjonsområder og tildeles farge – grønn, gul og rød – etter risikoen for dødelighet på vill laksefisk forårsaket av lakselus (Figur 2). Trafikklyssystemet bestemmer annet hvert år om den samlede produksjonskapasiteten i området får øke med 6 prosent (grønn), må minske med 6 prosent (rød) eller kan fortsette (gul) med uendret produksjonskapasitet (Nærings- og fiskeridepartementet, 2017).

Ved rødt lys foretas en reduksjon på 6 prosent i hver enkelt tillatelse. Ved grønt lys tilbys den tilgjengelige veksten etter regler som Nærings- og fiskeridepartementet fastsetter fra gang til gang. I 2018 og 2020 ble en andel av veksten først tilbudt til fastpris til alle oppdrettere med produksjonstillatelser i de grønne områdene. Deretter ble den gjenværende veksten solgt på auksjon, slik at det i alt ble tildelt 6 prosent vekst i hvert grønt produksjonsområde.[2]

Krav om kontroll og bekjempelse av lakselus, undersøkelser og overvåking

Det brukes i dag betydelige ressurser på kontroll og bekjempelse av lakselus. Mattilsynet kan gi oppdretter pålegg ved overskridelser av lusenivåer, og i ytterste konsekvens kan de pålegge oppdretter tidlig slakting av fisken. Det er videre krav til miljøundersøkelser og rapportering som følge av hensyn til miljø samt fiskehelse og fiskevelferd (Iversen mfl., 2015). Oppdrettere har et økonomisk ansvar for å redusere risikoen for genetisk påvirkning på villaks, og de kan bøtelegges for å dekke andres utgifter med å fjerne rømt oppdrettslaks.

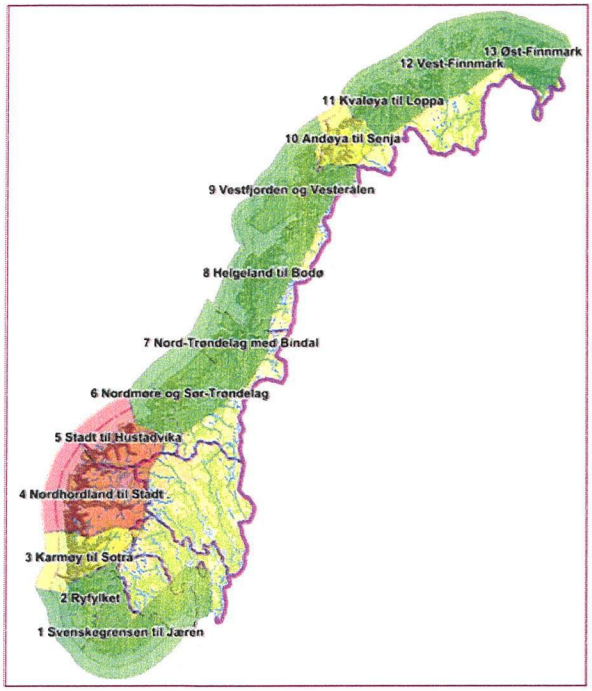
KOSTNADER VED MILJØTILTAK

Vi vurderer ulike produksjonsteknologier for oppdrett av laks som mulige forebyggende miljøtiltak. Marginal tiltakskostnad beregnes og fremstilles deretter i en marginal tiltakskostnadskurve. Metodikken er basert på etablert metodikk for beregninger av tiltakskostnader for å redusere klimagassutslipp (se McKinsey & Company, 2009; Walga, 2014; Miljødirektoratet, 2019b; Miljødirektoratet mfl., 2020) og tilpasset oppdrett av laks. Marginal tiltakskostnad (MTK) for hvert enkelt miljøtiltak beregnes ved å dele nåverdien av netto kostnad av tiltak per kilo laks på redusert mengde av eksterne miljøeffekter over tiltakets levetid, uttrykt i følgende formel:

$$MTK = \frac{\textit{Nåverdi av netto marginal kostnad}}{\textit{Total mengde eksterne miljøeffekter redusert over tiltakets levetid}} \quad (1)$$

Nåverdi av netto marginal kostnad for hvert miljøtiltak i telleren er beregnet som endringen i kostnadene fra et basisalternativ, der laks produseres med konvensjonell tekno-

[2] Enkelte lokaliteter som tilfredsstiller relativt strengere kriterier for lakselus kan få unntak.



Figur 2: *Norske produksjonsområder og tilknyttet trafikklysklassifisering fra juli 2020. Hentet fra Fiskeridirektoratet (2020).*

logi og utilstrekkelig håndtering av miljøproblemene. Netto marginal kostnad oppgis i mengdetermen rund vekt (WFE). For å beregne lønnsomheten til mulige miljøtiltak i forhold til basisalternativet setter vi analyseperioden til 20 år. Vi antar reinvestering for komponenter med kortere levetid og inkluderer eventuell restverdi etter 20 år. Diskonteringsrenten settes til 4 prosent per år (DFØ, 2018). Videre er alle kostnadstall justert med konsumprisindeksen til mars 2020 og oppgis i 2020 kr.

Total mengde eksterne miljøeffekter redusert over tiltakets levetid i nevneren i formel (1) er summen av de reduserte eksterne miljøeffektene som følge av tiltaket, sammenlignet med basisalternativet. Den totale mengden eksterne miljøeffekter er uttrykt som en indeks bestående av tre komponenter: (1) forurensning i form av lusepåslag på villaks, (2) genetisk interaksjon med villaks og (3) utslipp av ekskrementer og fôrspill til havbunnen. I fravær av grunnlag for ulik vekting av disse tre komponentene, vektlegges de likt (det vil si 1/3 hver). I tillegg, siden det ikke eksisterer en felles mengdeterm for miljøutfordringene, uttrykkes reduksjonen i eksterne miljøeffekter i prosent. Et eksempel for å illustrere dette kan være at en av de eksterne effektene reduseres til null og de andre er på samme nivå. Da vil indeksens totalverdi reduseres med 33,33 prosent. Vi kommer tilbake til en sensitivitetsanalyse med alternativ vekting av de tre komponentene med fokus på forurensning i form av lusepåslag på villaks. For å holde analysen relativt generisk og overordnet, ser vi bort fra eventuelle regionale forskjeller i kostnader og effekter av miljøtiltak i ulike deler av landet. Kostnadsanalysen er basert på en likevektssituasjon uten uforutsette hendelser, som for eksempel tilfeller av giftig algeoppblomstring. Vi gjennomgår seks ulike miljøtiltak nedenfor, sammenlignet med et basisalternativ (produksjon ved konvensjonell teknologi), og oppsummerer resultatene i Tabell 1.

Basisalternativet

Basisalternativet er produksjon av laks ved bruk av konvensjonell teknologi og resulterende negativ miljøpåvirkning. Vi tar utgangspunkt i informasjon og kostnadstall fra Bjørndal og Tusvik (2018). For etablering av en lokalitet beregner vi investeringskostnad til 235,5 millioner kroner. Kostnadene reflekterer kjøp av seks merdanlegg, tomt, infrastruktur samt produksjonstillatelse. I likhet med Bjørndal og Tusvik (2018) tar vi utgangspunkt i ni tillatelser på 780 tonn MTB (per stykk på selskapsnivå), og mål om å produsere omtrent to ganger MTB. Lokaliteten vil derfor å ha en årlig produksjonskapasitet på 15.000 tonn.[3] Investeringskostnad per kilo laks estimeres da til 15,70 kroner. Videre beregnes produksjonskostnad til 34,67 kroner per kilo laks og inkluderer blant annet kjøp av 100-gram settefisk, gjennomføring av krav og undersøkelser fra NYTEK-forskriften[4] og ti lusebehandlinger per merdanlegg for en årlig produksjon. Fôr, lusebehandlinger og kjøp av settefisk er kostnadsdriverne og utgjør henholdsvis 43, 17 og 8 prosent av produksjonskostnaden. Ti lusebehandlinger reflekterer ikke nødvendigvis dagens «normale» driftssituasjon, men er et forsøk på å speile fremtidens produksjon dersom miljøutfordringene ikke håndteres på en tilfredsstillende måte (Bjørndal og Tusvik, 2018).

Miljøtiltak 1: Åpent anlegg i sjø med luseskjørt

Luseskjørt omkranser de øverste fem-ti meterne av merdanlegget. Skjørtet fungerer som en barriere og er laget av lusetett materiale som hindrer lus å komme inn i merden (Holan mfl., 2017). Luseskjørt er et nyutviklet miljøtiltak ved bruk av forebyggende teknologi som enkelt og effek-

[3] Nøstbakken og Selle (2020) anslår produksjonskapasiteten per lokalitet til 3900 tonn MTB. Dette er med utgangspunkt i fem tillatelser og med en antagelse om å produsere 50 prosent mer enn MTB. Dette gir en årlig produksjon på rundt 6000 tonn laks.

[4] Forskrift om krav til teknisk standard for flytende akvakulturanlegg (NYTEK-forskriften) for å forebygge rømming av fisk.

tivt kan forhindre lusepåslag. Sammenlignet med åpne merdanlegg har luseskjørt en reduserende effekt på lusepåslag med 80 prosent (Wright mfl., 2019). Likevel vil effekten av luseskjørt varierer mellom lokalitet og perioder av året (Johansen, 2014). Stien mfl. (2012) stiller spørsmål ved om skjørtet vil redusere luseangrep dersom overflatevann har inngang til merden. På bakgrunn av dette anslår vi at luseskjørt fører til 50 prosent reduksjon av lusepåslag på ville laksebestander. Videre anser vi det som sannsynlig at luseskjørt ikke vil sikre mot genetisk interaksjon og utslipp av partikulært organisk materiale. Samlet sett medfører luseskjørt dermed til 17 prosent reduksjon av miljøutfordringene.

Basert på Bjørndal og Tusvik (2018) og Iversen mfl. (2017) beregner vi investeringskostnad for en lokalitet, gitt produksjonskapasitet på 15.000 tonn, til 236,7 millioner kroner. Investeringen innebærer seks merdanlegg med luseskjørt, tomt, infrastruktur samt produksjonstillatelse. I likhet med Iversen mfl. (2017) forutsetter vi at ett luseskjørt koster 211.000 kroner med levetid på tre år. Investeringskostnad per kilo laks estimerer vi til 15,78 kroner hvor 0,08 kroner utgjør kostnaden til luseskjørtene. Produksjonskostnad per kilo laks beregner vi til 29,97 kroner. Vi forutsetter ekstrakostnader til arbeidskraft for drift og vedlikehold av luseskjørtene. Det vil være behov for kontroll, reparasjon og vask av skjørtene, som vil gjøre driften noe mer arbeidskrevende. Vi tenker derfor at det vil være fornuftig å anta en 25 prosent økning i kostnadsposten service og vedlikehold. Service og vedlikehold øker fra 4 til 5 prosent av produksjonskostnaden. Miljøtiltak 1 viser seg dermed til å være mer lønnsomt for oppdretterne enn basisalternativet. Med marginal kostnad (netto nåverdi) på 63,63 kroner og 17 prosent reduksjon av miljøutfordringene beregner vi marginal tiltakskostnad til -381,80 kroner per kilo laks produsert.

Miljøtiltak 2: Åpent anlegg i sjø med snorkelmerd
Snorkelmerd skiller oppdrettslaks fra lakselus som befinner seg i den øvre delen av vannsøylen. Laksen holdes nede av et tak av not med en presenningskledd passasje til overflaten, slik at laksen har tilgang på luft og etterfylling av svømmeblæren uten å ha kontakt med overflatevannet (Stien mfl., 2016). Geitung mfl. (2019) viser til 75 prosent nedgang i luseinfeksjoner i kommersiell testing med fullsyklus, og Oppedal mfl. (2017) viser til avtakende lusepåslag ved bruk av dypere snorkelbarrierer. Likevel reduserer ikke snorkelmerd luseangrep på lokaliteter med brakkoverflatevann som typisk observeres i fjorder (Oppedal mfl., 2019). Lik infeksjonsrate skyldes at både laks og lus befinner seg dypere i vannsøylen under brakkvannlaget. Studiene ovenfor indikerer at snorkelmerd vil minimere lusepåslag på ville laksebestander på lokaliteter langs kysten. For produksjonsområder i fjorder vil det trolig være større usikkerhet om effekten på luseangrep. Vi antar derfor konservativt at snorkelmerd har en 50 prosent reduksjon på lakselus og ingen effekt mot genetisk interaksjon og utslipp av partikulært organisk materiale. Samlet sett medfører snorkelmerd derfor til 17 prosent reduksjon av miljøutfordringene.

Basert på Bjørndal og Tusvik (2018) og Iversen mfl. (2017) beregner vi en investeringskostnad for en lokalitet, gitt produksjonskapasitet på 15.000 tonn, til å være totalt 239,4 millioner kroner. Investeringen innebærer seks merdanlegg med snorkelmerd, tomt, infrastruktur samt produksjonstillatelse. I likhet med Iversen mfl. (2017) forutsetter vi at en snorkelmerd koster 1,1 millioner kroner med ti års levetid. Dette tilsvarer 16,14 kroner per kilo laks der 0,44 kroner utgjør kostnaden til snorkelmerdene. Produksjonskostnad per kilo laks beregner vi til 30,22 kroner som inkluderer 1,50 kroner i ekstrakostnader til service og vedlikehold. Utsett, ordinær drift og vasking av nøter blir noe mer arbeidskrevende enn konvensjonell oppdrett da snorkelmerd har mer kompliserte merdanlegg. Slik som Iversen mfl. (2017) tar vi også høyde for at service og vedlikehold av snorkelmerd vil bli 50 prosent mer arbeidskrevende. Kostnadskomponenten øker da fra 4 til 6 prosent av produksjonskostnaden. Miljøtiltak 2 er mer lønnsomt for oppdretterne enn basisalternativet. Med marginal kostnad (netto nåverdi) på 59,74 kroner og 17 prosent reduksjon av miljøutfordringene beregner vi marginal tiltakskostnad til -358,44 kroner per kilo laks produsert.

Miljøtiltak 3: Lukket merdanlegg i sjø
Teknologirådet (2012) definerer lukket eller delvis lukket anlegg (heretter kalt lukket merdanlegg i sjø) som en tett eller delvis tett fysisk barriere mellom vannmiljøet til laksen og miljøet rundt. Lukket merdteknologi er på et forsknings- og utviklingsstadium, og vi anser den som radikal ettersom omlegging av produksjonen er svært omfattende. Rosten mfl. (2011) belyser hvordan lukket merdteknologi vil begrense utslipp av partikulært organisk materiale, utslipp eller tap av næringssalter, rømming av fisk, utveksling av lakselus med omgivelsene, samt utveksling av andre patogen. Vellykket utvikling og realisering av konseptet vil kunne resultere i bruk av eldre lokaliteter på grunt vann og i fjorder. Teknologien er trolig bedre egnet på grunt vann og inne i fjordene ettersom konstruksjonen til lukket anlegg i sjø sannsynlig ikke vil tåle påkjenningen av bølger til en

viss høyde. Med mer utsatt plassering kan barrieren mellom oppdrettslaksen og omgivelsene rundt brytes, og trolig resultere i flere lusepåslag samt genetisk påvirkning på ville laksebestander. Samlet sett antar vi at lukket merdanlegg i sjø (med riktig plassering) har 100 prosent reduksjon på utslipp av partikulært organisk materiale og lusepåslag på ville laksebestander. Rømming av oppdrettslaks kan likevel skje under transport, og skyldes ofte hull i slange eller svikt i rist ved overføring til lukket merd (Føre mfl., 2019). Vi antar derfor konservativt at lukket merdanlegg i sjø har 50 prosent reduksjon på genetisk interaksjon med villaks. Lukket merdanlegg i sjø gir dermed totalt sett en 83 prosent reduksjon av miljøutfordringene.

Basert på Bjørndal og Tusvik (2018) beregner vi investeringskostnad for en lokalitet, gitt produksjonskapasitet på 15.000 tonn, til 311,1 millioner kroner. Investeringen innebærer tolv lukkede merdanlegg, tomt, infrastruktur samt produksjonstillatelse. Investeringskostnad per kilo laks estimerer vi til 20,74 kroner. Det vil være nødvendig å investere i pumpe- og slamanlegg, og ekstra produksjonskostnader oppstår ved pumping av sjøvann samt resirkulering og behandling av slam (Misund mfl., 2019). Produksjonskostnad per kilo laks beregner vi til 38,90 kroner. Foruten ekstrakostnader til energi, oksygen og slam vil det også være behov for mer service og vedlikehold på anleggsutstyr. Ett årsverk ekstra bemanning er også inkludert per lokalitet på grunn av mer avansert teknologi. Miljøtiltak 3 er mindre lønnsomt for oppdretterne enn basisalternativet. Med marginal kostnad (netto nåverdi) på -69,13 kroner og 83 prosent reduksjon av miljøutfordringene beregner vi marginal tiltakskostnad til 82,95 kroner per kilo laks produsert.

Miljøtiltak 4: Landbasert anlegg med resirkulerende akvakultursystemer (RAS-teknologi)

Holm mfl. (2015) definerer landbasert anlegg med RAS-teknologi som et lukket anlegg med resirkulerbar vannstrøm med opptil 95 til 99 prosent. Prinsippet med RAS-teknologi er at vannstrømmen tilfører oksygen til laksen, fjerner avfallsstoffer og deretter gjenbrukes. Målet er å oppnå et velfungerende system som har kapasitet til å produsere laks til slakteklar vekt. Landbasert anlegg med RAS-teknologi er det mest omdiskuterte og radikale miljøtiltaket.[5] Videre er dette miljøtiltaket den eneste produksjonsteknologien som kan sikre 100 prosent eliminering av effekter på ville laksebestander og utslipp av partikulært organisk materiale. Det forutsetter at en kan håndtere avfall og utslipp fra anlegg på land på en forsvarlig måte. Videre antar vi at slike anlegg kan plasseres i industriområder eller lignende som ikke gir andre negative miljøvirkninger, for eksempel på natur og landskap.

Basert på et gjennomsnitt fra studiene til Bjørndal og Tusvik (2018) og Liu mfl. (2016) beregner vi investeringskostnad for et landbasert anlegg med produksjonskapasitet på 6000 tonn til 737,8 millioner kroner. Investeringen innebærer tomt, bygning (inkludert elektriske installasjoner), vannbehandling og diverse utstyr. Anlegget inkluderer klekkeri, men ikke slakteri. Landbasert anlegg med RAS-teknologi har i motsetning til andre produksjonsmetoder i sjø vederlagsfri tildeling av produksjonstillatelser (Fiskeridirektoratet, 2016b). Investeringskostnad per kilo laks estimerer vi til 122,97 kroner, og produksjonskostnad per kilo laks beregner vi til 43,44 kroner. Fôr er den tydeligste kostnadsdriveren på 39 prosent, deretter følger energi, lønn og oksygen med henholdsvis 12, 6 og 6 prosent. Videre forekommer det ekstrakostnader til håndtering av slam og sikring av god vannkvalitet. Miljøtiltak 4 er mindre lønnsomt for oppdretterne enn basisalternativet. Med marginal kostnad (netto nåverdi) på -222,63 kroner og 100 prosent reduksjon av miljøutfordringene beregner vi marginal tiltakskostnad til 222,63 kroner per kilo laks produsert.

Miljøtiltak 5: Utsett av 1000-gram settefisk

Utsett av 1000-gram settefisk er bruk av større smolt og medfører til kortere produksjonsprosess i sjø. Miljøtiltaket kan redusere luseangrep på villaks dersom produksjonstiden forkortes fra 18 måneder til for eksempel ti måneder. Kortere produksjonsfase vil trolig redusere oppblomstring av lakselus, gi lavere risiko for rømming og mindre utslipp av partikulært organisk materiale. Miljøutfordringene elimineres ikke ved bruk av miljøtiltaket, men påvirkningen vil være mindre enn ved konvensjonell produksjon. Samlet sett anslår vi at effekter på ville laksebestander og utslipp av partikulært organisk materiale kan reduseres med 50 prosent.

Basert på Bjørndal og Tusvik (2018) beregner vi investeringskostnad for en lokalitet med åpent anlegg i sjø med utsett av 1000-gram settefisk til 235,5 millioner kroner. I likhet med basisalternativet består en lokalitet av seks merdanlegg og har en produksjonskapasitet på 15.000 tonn. Investeringskostnad per kilo laks estimerer vi til 15,70 kroner. Produksjonskostnaden til utsett av 1000-gram settefisk innebærer dyrere smolt og mindre fôr, som utgjør henholdsvis 39 og 33 prosent av total produksjonskostnad. Vi

[5] Det er i dag flere selskaper som driver kommersielt med oppdrett på land, slik som for eksempel Atlantic Sapphire, med det er likevel relativt tidlig i etablering og utvikling av teknologi og skala.

estimerer produksjonskostnaden til 31,60 kroner. Miljøtiltak 5 er mer lønnsomt for oppdretterne enn basisalternativet. Med marginal kostnad (netto nåverdi) på 41,72 kroner og 50 prosent reduksjon av miljøutfordringene beregner vi marginal tiltakskostnad til -83,44 kroner per kilo laks produsert.

Miljøtiltak 6: Havbruk til havs

Havbruk til havs fører til en betydelig og radikal omlegging av produksjon av laks. I følge Nærings- og fiskeridepartementet (2018) har konseptet likehetstrekk med plattformer med offshoreteknologi. Havbruk til havs plasseres i områder med sterkere havstrømmer der utslipp av partikulært organisk materiale vil bli spredt over et større område. Videre vil havbruksinstallasjoner ha mindre negativ påvirkning på ville laksebestander da anlegget plasseres lengre ut til havs og ikke forstyrrer villaksens vandringsrute. Likevel kan det være en risiko for at konseptet forsinker negativ miljøpåvirkning i stedet for å løse problemene. Sterke havstrømninger vil ikke garantere en lusfri produksjon, og havmerdanlegg kan være like utsatt for lusepåslag som kan medføre større smittede områder. Basert på den informasjonen vi har funnet kan en si at offshoreteknologi trolig vil være jevnt over mindre belastende på miljøet rundt. Ved å flytte produksjon av laks til havs vil sannsynligvis ikke miljøet rundt skjermes for negativ påvirkning, men belastningen vil kunne spres på et større område. Samlet sett anslår vi at havbruk til havs medfører en 50 prosent reduksjon av effekter på ville laksebestander og utslipp av partikulært organisk materiale.

Så vidt vi vet eksisterer det få studier som undersøker produksjon, økonomi og risiko knyttet til konseptet havbruk til havs. Tveterås mfl. (2020) presenterer ulike konsepter for offshore havbruk med investeringskostnad varierende fra 80 millioner kroner til 1,5 milliarder kroner. Vi velger å benytte investeringskostnad for ett offshore anlegg på 1 milliard kroner med en produksjonskapasitet på 10.000 tonn. Investeringskostnaden inkluderer ikke produksjonstillatelse da det ikke eksisterer et regelverk for utdeling av tillatelser for havbruk til havs. Arbeidsbåt og andre servicefartøy er heller ikke inkludert i investeringskostnaden da det ikke oppgis noe nærmere informasjon om dette. Investeringskostnad estimeres derfor grovt til 100 kroner per kilo laks. Store deler av investeringskostnaden er relatert til anleggets konstruksjon og valg av materiale (for eksempel betong, stål eller polyeten). For å estimere produksjonskostnaden per kilo laks må vi gjøre egne vurderinger da det eksisterer lite tilgjengelig informasjon om kostnader relatert til driften av offshoreanlegg. Vi beregner produksjonskostnad for ett kilo laks til 31,65 kroner. Estimatet baseres på Bjørndal og Tusviks (2018) produksjonskostnad for åpne merdanlegg, men vi har antatt en dobling i utgiftspostene lønn, energi (elektrisitet) og service og vedlikehold. Kjøp av settefisk og fôr er lik estimatet til Bjørndal og Tusvik (2018) og utgjør henholdsvis 9 og 47 prosent. I likhet med Iversen mfl. (2013) antar vi at ansatte bor på offshoreanlegget under lengre tidsperioder (turnus) og at det da vil være behov for to arbeidslag. Lønnskostnad utgjør da 12 prosent av produksjonskostnaden. Grunnet større installasjoner og mer avansert teknologi vil trolig energibehovet økes og det vil være behov for mer service og vedlikehold. Miljøtiltak 6 er mindre lønnsomt for oppdretterne enn basisalternativet. Med marginal kostnad (netto nåverdi) på -43,26 kroner og 50 prosent reduksjon av miljøutfordringene beregner vi marginal tiltakskostnad til 86,51 kroner per kilo laks produsert.

Marginal tiltakskostnadskurve

Marginal tiltakskostnad (MTK) for de ulike tiltakene er presentert i Figur 3. Høyden på søylene reflekterer miljøtiltakets kostnad per kilo laks per enhet (prosentpoeng) reduksjon i eksterne miljøeffekter og bredden på søylen viser reduksjonspotensial (i prosent). Landbasert anlegg med RAS-teknologi, for eksempel, har en bredde som tilsvarer 100 prosent reduksjon i miljøproblemet, mens luseskjørt og snorkelmerd har reduksjonspotensial på henholdsvis 17 prosent hver. Miljøtiltakene presenteres fra lavest til høyest MTK. MTK-kurven i Figur 3 viser tydelige forskjeller mellom miljøtiltakene. Miljøtiltak 3, 4 og 6 har positiv marginal tiltakskostnad som skyldes høyere investerings- og produksjonskostnader for mer avansert teknologi sammenlignet med basisalternativet. Med andre ord er Miljøtiltak 3, 4 og 6 produksjonsmetoder som ikke er lønnsomme for oppdrettsnæringen i dag, men kan føre til vesentlig reduksjon av eksterne miljøeffekter. Miljøtiltak 1, 2 og 5 har negativ marginal tiltakskostnad og viser til besparelser sammenlignet med basisalternativet. Tiltakene er derfor privatøkonomisk lønnsomme.

Marginal tiltakskostnadskurve – alternativ vekting

Vi mener det vil være nyttig å gjennomføre en sensitivitetsanalyse med alternativ vekting av den totale mengden eksterne miljøeffekter. Oppdrettsnæringen i dag styres nesten utelukkende etter luseproblemet, og vi velger derfor å vektlegge forurensning i form av lusepåslag på villaks med 50 prosent. Videre vektes genetisk interaksjon med villaks samt utslipp av ekskrementer og fôrspill til havbunnen med 25 prosent hver.

MTK-kurven med alternativ vekting gir et noe annet bilde enn den opprinnelige MTK-kurven. Miljøtiltak 1, 2 og 3 vil nå gi en høyere reduksjon av miljøeffektene samlet sett, og det skyldes hovedsakelig at lusepåslag vektlegges mer. Total mengde miljøeffekter redusert øker fra 17 til 25 prosent for Miljøtiltak 1 og 2, og øker fra 83 til 87 prosent for Miljøtiltak 3. For Miljøtiltak 4, 5 og 6 vil alternativ vekting endre mengde miljøeffekt redusert for hver enkel komponent, men vil i helhet ikke påvirke den totale mengden miljøeffekter redusert.

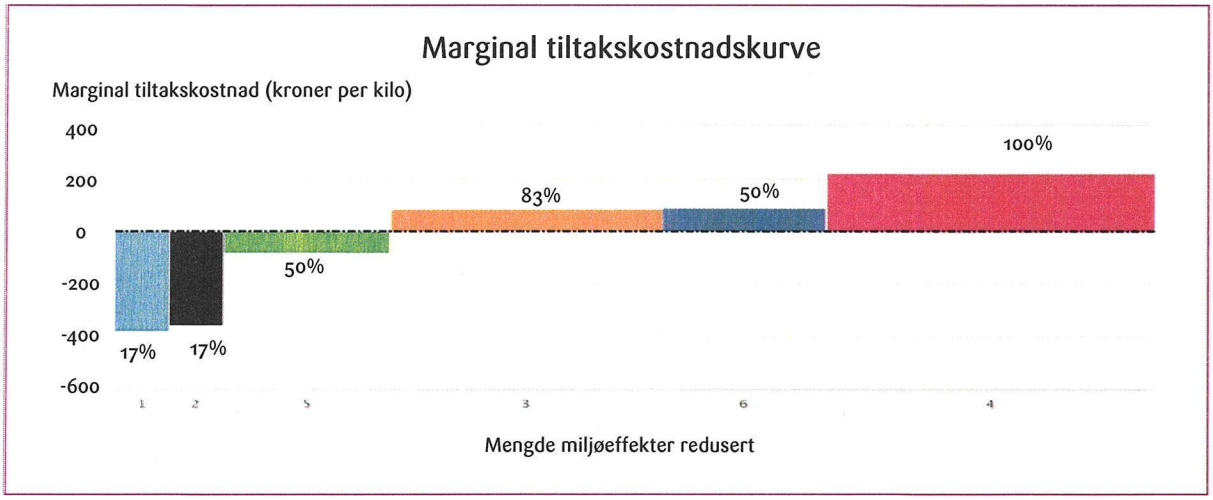
Grunnet større redusert mengde miljøeffekter vil marginal tiltakskostnad for Miljøtiltak 1, 2 og 3 endres. For Miljøtiltak 1 og 2 øker marginal tiltakskostnad fra henholdsvis -381,80 kroner og -358,44 kroner til -254,53 kroner og -238,96 kroner. Årsaken til dette er at kostnader relatert til reduksjon av lusepåslag på villaks utgjør en større del av kostnadsbildet enn tidligere. Da Miljøtiltak 1 og 2 kun har en reduserende effekt på lusepåslag vil kostnaden til denne komponenten øke og resultere i en høyere marginal tiltakskostnad. For Miljøtiltak 3 reduseres marginal tiltaks-

Tabell 1: *Beregning av marginal tiltakskostnad (MTK) i nåverdi oppgitt i norske 2020-kr per kilo laks (WFE) produsert.*

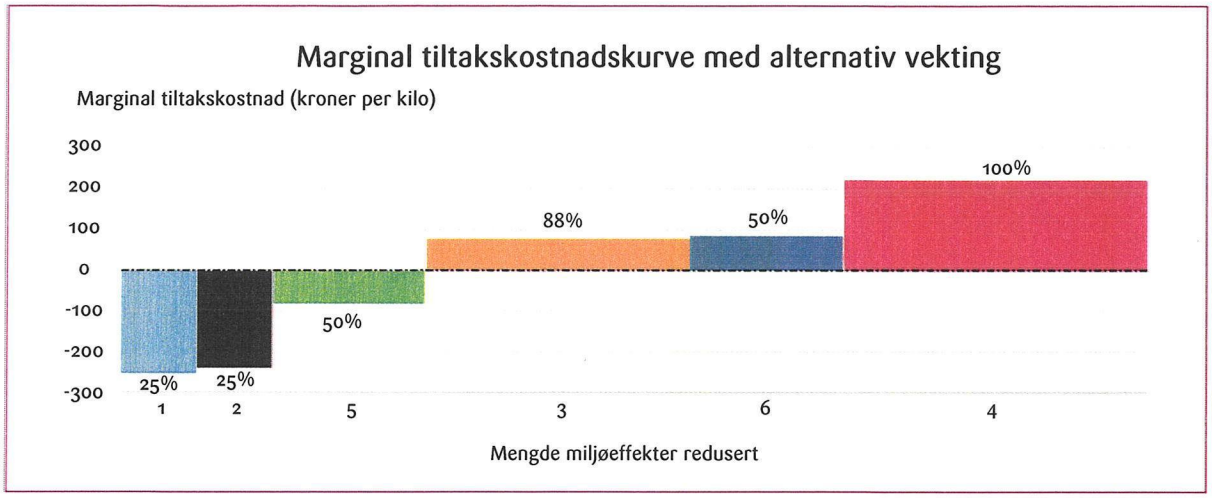
Miljøtiltak	1	2	3	4	5	6
Δ Investeringskostnad*	-0,25	-0,74	-11,99	-111,46	-	-84,30
Δ Restverdi	0,01	-	0,35	1,51	-	-
Δ Produksjonskostnad*	63,87	60,48	-57,49	-112,68	41,72	41,04
Marginal kostnad*	63,63	59,74	-69,13	-222,63	41,72	-43,26
Δ Totale eksterne miljøeffekter redusert i prosent	17	17	83	100	50	50
Marginal tiltakskostnad**	-381,80	-358,44	82,95	222,63	-83,44	86,51

Merk:
Miljøtiltak 1: Åpent anlegg i sjø med luseskjørt
Miljøtiltak 2: Åpent anlegg i sjø med snorkelmerd
Miljøtiltak 3: Lukket merdanlegg i sjø
Miljøtiltak 4: Landbasert anlegg med RAS-teknologi
Miljøtiltak 5: Utsett av 1000-gram settefisk
Miljøtiltak 6: Havbruk til havs

* En negativ endring viser til økte kostnader og positiv endring reflekterer besparelser sammenlignet med basisalternativet.
** En negativ marginal tiltakskostnad tolkes som at tiltaket er samfunnsøkonomisk lønnsomt selv uten at man har hensyntatt de reduserte eksterne miljøeffekter fra lakseoppdrett.



Figur 3: *Marginal tiltakskostnadskurve (MTK) for ulike miljøvennlige produksjonsteknologier for lakseoppdrett. Nåverdi av nettokostnad i forhold til konvensjonelt fiskeoppdrett per kilo laks (i 2020 kr), og prosentvis reduksjon i eksterne miljøeffekter («Mengde miljøeffekter redusert»).*



Figur 4: *Marginal tiltakskostnadskurve for ulike miljøvennlige produksjonsteknologier for lakseoppdrett med alternativ vekting. Nåverdi av nettokostnad i forhold til konvensjonelt fiskeoppdrett per kilo laks (i 2020 kr), og prosentvis reduksjon i eksterne miljøeffekter («Mengde miljøeffekter redusert»).*

kostnad fra 82,95 kroner til 79,00 kroner. Dette skyldes at genetisk interaksjon med villaks og utslipp til havbunnen vektlegges mindre enn tidligere og kostnaden til disse komponentene blir da lavere. Miljøtiltak 4, 5 og 6 har uendret reduksjon av total mengde miljøeffekter og vil derfor ha samme marginale tiltakskostnad som før.

SAMFUNNSØKONOMISK VURDERING PÅ NASJONALT NIVÅ

Noen av tiltakene vi har diskutert ovenfor er privat- (og samfunnsøkonomisk) lønnsomme, men gjennomføres ikke i dag i tilstrekkelig utstrekning av ulike grunner, som vi skal komme litt tilbake til. De tiltakene som i dag ikke er privatøkonomisk lønnsomme, kan likevel være samfunnsøkonomisk lønnsomme dersom samfunnets nytte av de reduserte miljøproblemene er høyere enn tiltakskostnadene. Det samfunnsøkonomiske overskuddet av investeringer i miljøtiltak er endringen i summen av produsent- og konsumentoverskudd, justert for positive og negative eksternaliteter, sammenlignet med et basisalternativ med konvensjonell teknologi og miljøreguleringer.[6] Nytten av miljøtiltak er den positive effekten tiltakene har på økosystemtjenestene i norske havområder for norske borgere, sammenlignet med basisalternativ. Denne nytten er i hovedsak et ikke-markedsgode, selv om deler av den kan realiseres i form av for eksempel kommersiell lakseturisme og i form av et oppdrettsprodukt med bærekraftskvaliteter markedet kan være villig til å betale en premie for. Siden oppdretterne selger mesteparten (1,1 millioner tonn i 2020)[7] av sin laks på det internasjonale markedet vil produsentoverskuddet være følsomt for hvor stor en eventuell slik premie er i dette markedet. Vi gjør i det følgende noen grove, konservative anslag på nyttesiden, som i hovedsak er basert på den norske befolkningens betalingsvillighet for reduserte miljøvirkninger.

Total betalingsvillighet for reduserte miljøproblemer

Åsheim (2019) gjennomførte en betinget verdsettingsstudie av ulike tiltaksscenarier for å redusere miljøvirkninger av oppdrett på Vestlandet.[8] Disse bestod av reduksjoner i negative virkninger på rekruttering av kysttorsk, rømt oppdrettsfisk, luserelaterte problemer for villaks og sjøørret, utslipp fra anlegg til havbunnen, og påvirkning på kystlandskapet. Tre tiltaksscenarier for reduserte miljøvirkninger ble verdsatt: omlegging av halvparten (tiltaksplan 1) og hele (tiltaksplan 2) produksjonen til lukkede merder; samt å legge hele produksjonen i et landbasert anlegg (tiltaksplan 3). De tre tiltaksplanene er illustrert i Figur 5.

Miljøendringene verdsatt i Åsheim (2019) er nokså like dem vi ønsker å verdsette. I mangel av andre landsdek-

[6] I tillegg kan det være endringer i produsent- og konsumentoverskudd i andre næringer som drar nytte av reduserte miljøproblemer, for eksempel laksefisketurisme, som vi ikke har forsøkt å beregne her.

[7] Kilde: Norges Sjømatråd (2021).

[8] Undersøkelsen fokuserte på produksjonsområde 3 og 4 og trakk utvalg blant NORSTATs internettpanel innenfor Sogn og Fjordane, Hordaland og kommunene Karmøy og Haugesund i Rogaland. Svarprosenten var rett i underkant av 20 prosent.

Tabell 2: *Beregning av marginal tiltakskostnad (MTK) med alternativ vekting oppgitt i 2020-kr per kilo laks (WFE) produsert.*

Miljøtiltak	1	2	3	4	5	6
Marginal kostnad	63,63	59,74	-69,13	-222,63	41,72	-43,26
Δ Totale eksterne miljøeffekter redusert i prosent	25	25	88	100	50	50
Marginal tiltakskostnad	-254,53	-238,96	79,00	222,63	-83,44	86,51

kende studier, eller bedre egnede utenlandske studier vi kan overføre fra, generaliserer vi betalingsvillighetsanslagene for tiltaksscenariene 2 og 3 fra Åsheim (2019) til alle husholdninger i Norge, som en illustrasjon. Dette er selvfølgelig en forenkling.

Vi tolker anslagene som nåverdien av nytten, da befolkningen er spurt om deres betalingsvillighet som en engangsskatt for tiltak som reduserer miljøproblemene. Total betalingsvillighet for befolkningen kalkuleres på følgende måte:

$$\overline{WTP}_{tot} = n * \overline{WTP}_{i} \quad (2)$$

Der n representerer antall husholdninger i Norge (omtrent 2,5 millioner)[9] og $\overline{WTP}_{i}$ er den gjennomsnittlige betalingsvilligheten per husholdning.

Den lokale kystbefolkningen som bor der det er oppdrett påvirkes mest negativt av miljøvirkningene, men er også den som får størstedelen av de økonomiske fordelene.[10] På den annen side, kan andre deler av befolkningen ha ikke-bruksverdier og dessuten være opptatt av for eksempel rent hav, kystlandskap og sportsfiske. Vi har ikke grunnlag for å justere WTP opp eller ned ved generalisering til resten av landet. Åsheim (2019) fant en gjennomsnittlig betalingsvillighet på henholdsvis kr 635 og 931 blant befolkningen på Vestlandet for tiltaksplanene 2 og 3. Vi oppjusterer 2019-tallene med konsumprisindeksen (KPI) til mars 2020 kr. Ved å multiplisere disse nytteanslagene med antall husstander i Norge gir dette et grovanslag på total betalingsvillighet på henholdsvis 1,6 og 2,3 milliarder kroner for omlegging av hele produksjonen til henholdsvis lukkede merder i sjø og til landanlegg. Verdianslagene reflekterer en høyere vilje til å betale blant befolkningen for miljøtiltak som håndterer bedre eller løser miljøutfordringene helt (en såkalt positive «scope»-effekt). Tiltak som har lik reduksjon i miljøeffekter antas å ha lik nytte.

Totale kostnader ved miljøtiltak

For å anslå endring i nåverdien av totale kostnader ved nye teknologier for total produksjon av oppdrettslaks i Norge, og for senere å sammenligne denne med nyttesiden, må vi identifisere antall nødvendige lokaliteter for å opprettholde total produksjon i Norge.[11] Fiskeridirektoratet (2021a) oppgir 1.393.129 tonn som total produksjon i 2020. Antall lokaliteter finner vi ved å dividere tiltakets produksjonskapasitet på total produksjon. Endring i investeringskostnaden for en lokalitet multipliserer vi med antall lokaliteter, og endring i produksjonskostnaden multipliseres med total produksjon i Norge.[12] Videre estimerer vi endring i nåverdien av totale kostnader ved å summere investerings- og produksjonskostnad samt restverdi. Estimatene presenteres i Tabell 4, og viser til økning eller besparelse i totale kostnader ved bruk av tiltak.

Miljøtiltak 1, 2, og 5 er produksjonsmetoder som er privat- og samfunnsøkonomisk lønnsomme sammenlignet med basisalternativet.

Et godt stykke til samfunnsøkonomisk lønnsomhet for lukkede anlegg og havbruk til havs

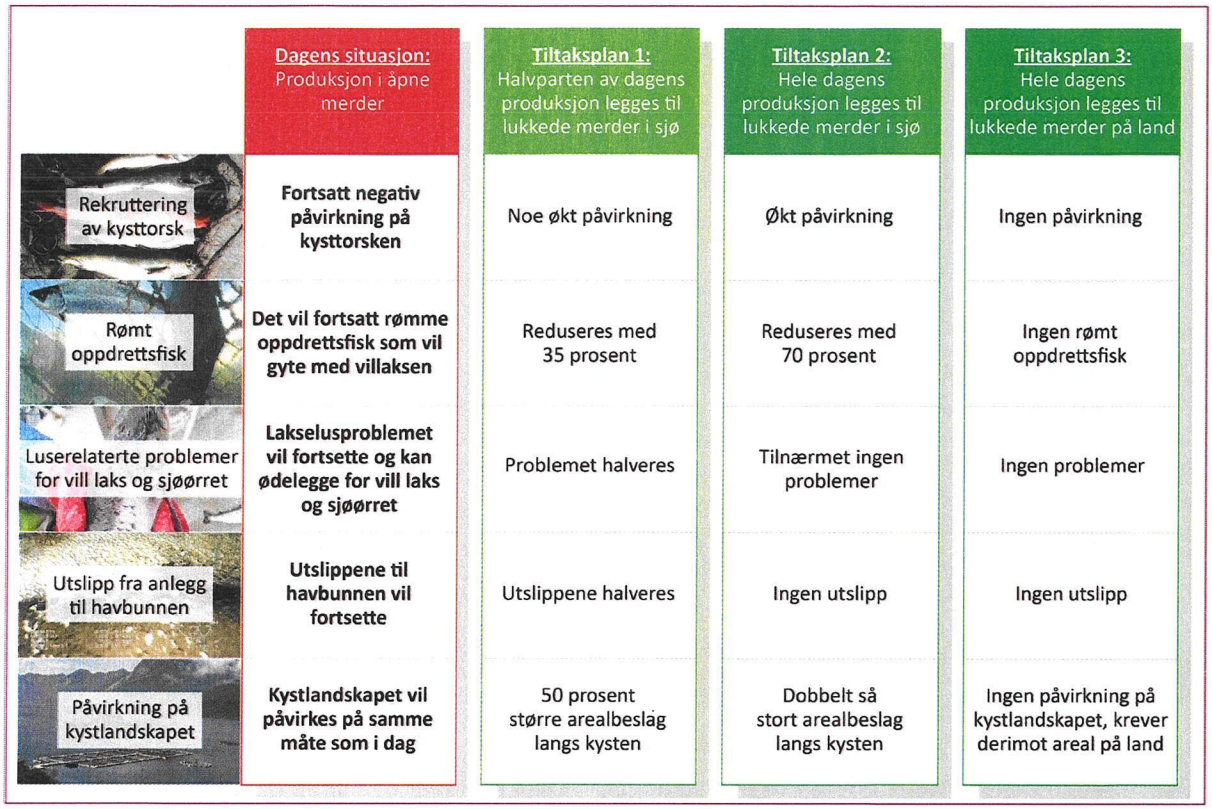
Vi sammenligner kostnadene med nytteverdier for Miljøtiltak 3, 4 og 6. Åsheims (2019) nytteestimat for omlegging av hele produksjonen til lukkede merder i sjø (tiltaksplan 2) mener vi samsvarer best med nyttevirkningene av Miljøtiltak 3. Nåverdi av total nytte har vi estimert til 1,6 milliarder kroner og nåverdi av total kostnad til 96,3 mil-

[9] Antall privathusholdninger i Norge 2020 er 2.475.168 basert på tall fra SSB (2021).

[10] Selv om det i Åsheim (2019) ble forsøkt holdt utenfor de markedsmessige (stort sett) positive virkningene av oppdrett i selve verdsettingen av miljøvirkningene, er det likevel slik at lokalbefolkningen både kan være mer positive til oppdrett (og mindre negative til miljøvirkningene) enn resten av befolkningen.

[11] Vi generaliserer ved å forutsette at alle produksjonsområdene i Norge har uakseptabel miljøpåvirkning (det vil si er i rød sone ut fra trafikklyssystemet). Forutsetningen reflekterer ikke dagens situasjon (da kun et fåtall områder er rød sone), men dette kan bli en situasjon for fremtidig oppdrett av laks dersom miljøutfordringene ikke håndteres.

[12] Vi forutsetter at bruk av forebyggende teknologiske miljøtiltak finansieres av den enkelte oppdretter og ikke gjennom offentlige tiltak.



Figur 5: *Tiltaksscenarier for fiskeoppdrettsanlegg og dets miljøvirkninger; som verdsettes i Åsheim (2019).*

liarder kroner. Miljøtiltak 3 er dermed kraftig samfunnsøkonomisk ulønnsomt med dagens kostnads- og nyttenivå. For at Miljøtiltak 3 skal være samfunnsøkonomisk lønnsomt i Norge må betalingsvilligheten være 38.907 kroner per husholdning. Historien er tilsvarende for Miljøtiltak 4 (landbasert anlegg). Åsheims (2019) nytteverdi for omlegging av hele produksjonen til land (tiltaksplan 3) mener vi er mest passende for Miljøtiltak 4. Nåverdi av total nytteverdi beregnes til 2,3 milliarder kroner og nåverdi av total kostnad til 280,7 milliarder kroner. Dette er dermed også samfunnsøkonomisk svært ulønnsomt. For å oppnå samfunnsøkonomisk lønnsomhet for hele produksjonen i Norge for Miljøtiltak 4 måtte hver husholdning betale 113.394 kroner. For Miljøtiltak 6 (havbruk til havs) benytter vi et grovt nytteanslag som utgjør 50 prosent av Åsheims nytteverdi for omlegging av hele produksjon til land (tiltaksplan 3). Nytteanslaget mener vi reflekterer en halvering av miljøeffektene ved bruk av offshore teknologi. Nåverdi av total nytte har vi estimert til 1,1 milliarder kroner og nåverdi av total kostnad til 49,3 milliarder kroner. Likt som miljøtiltakene ovenfor er dette tiltaket også svært samfunnsøkonomisk ulønnsomt. Husholdninger i Norge må betale 19.929 kroner i engangsskatt for at Miljøtiltak 6 skal være samfunnsøkonomisk lønnsomt.

Vi kunne i tillegg inkludert muligheten for at produsentoverskuddet til oppdretterne kunne økes ved å høste en prispremie på verdensmarkedet for mer miljøvennlig laks. Det er usikkert i hvilken grad en slik premie vil kunne tas ut (og en skal være forsiktig med å inkludere en eventuell slik premie for norske konsumenter for å unngå dobbelttelling med anslagene ovenfor). Enkelte internasjonale oppgitte preferanse (Stated Preference) - studier, som for eksempel Hynes mfl. (2019), Yip mfl. (2017) og Whitmarsh og Wattage (2006), finner prispremier på omtrent 40–90 kroner (2020-kr) per kilo miljøvennlig oppdrettslaks sammenlignet med konvensjonelt produsert laks. Vi regner ikke videre på dette, men om noe av denne prispremien kan tas ut, vil det utgjøre relativt store beløp for produsentene og også ha betydning for det samfunnsøkonomiske regnestykket.

Tabell 4: *Endring i totale kostnader (nåverdi) for å gjennomføre hvert av de seks miljøtiltakene for all oppdrett av laks i Norge.*

Miljøtiltak	Totale kostnader (nåverdi) for total produksjon i Norge (2020-kr)
1. Åpent anlegg i sjø med luseskjørt	88,6 mrd.
2. Åpent anlegg i sjø med snorkelmerd	83,4 mrd.
3. Lukket merdanlegg i sjø	-96,3 mrd.
4. Landbasert anlegg med RAS-teknologi	-280,7 mrd.
5. Utsett av 1000-gram settefisk	58,1 mrd.
6. Havbruk til havs	-49,3 mrd.

Merk: Negative kostnadstall reflekterer økning i totale kostnader og positive kostnadstall er besparelser; i begge tilfeller sett i forhold til basisalternativet som er konvensjonelt oppdrett.

AVSLUTTENDE DISKUSJON

Vi har i denne artikkelen analysert kostnader ved miljøtiltak i lakseoppdrett, koblet med noen grove anslag på samfunnsøkonomisk lønnsomhet, basert på tilgjengelige data, litteratur og et mindre antall egne kvalitative intervjuer av interessenter med kjennskap til næringen og dens utfordringer.[13]

Vi finner at miljøtiltakene: i) åpent anlegg i sjø med luseskjørt, ii) tilsvarende, men med snorkelmerd og iii) utsett av 1000-gram settefisk (dvs. henholdsvis miljøtiltak 1, 2 og 5) har negativ marginal tiltakskostnad. Det vil si at tiltakene er lønnsomme for den enkelte oppdretter, og for samfunnet som helhet uten å måtte vurdere verdien av reduserte miljøproblemer. Derimot har miljøtiltakene 3, 4 og 6; det vil si henholdsvis lukket merdanlegg i sjø, landbasert anlegg med resirkulerende akvakultursystemer (RAS-teknologi) og havbruk til havs en positiv marginal tiltakskostnad, og er ikke privatøkonomisk lønnsomme produksjonsmetoder. Det eksisterer imidlertid positiv betalingsvillighet blant den norske befolkningen for å redusere miljøvirkningene fra lakseoppdrett. Denne er anslått å være i størrelsesorden 1–2 prosent av kostnadene for lukkede anlegg i sjø, på land eller havbruk til havs med vårt tankeeksperiment der all konvensjonell produksjon i dag ble erstattet med en av disse teknologiene.

Miljøtiltak 1, 2 og 5 er produksjonsmetoder som reduserer miljøutfordringene og samtidig er klart privatøkonomisk lønnsomme i forhold til konvensjonell teknologi. Likevel foregår dagens produksjon av laks hovedsakelig i åpne merdanlegg i sjø. Hva er årsakene til dette? Et mindre utvalg informanter som ble intervjuet i forbindelse med dette arbeidet mente at barrieren for utvikling og realisering av tiltakene er manglende forskning og kompetanseoppbygging på teknologi som faktisk håndterer eller løser miljøpåvirkningene. For eksempel er det ifølge den ene informanten utfordringer ved å få til et luseskjørt som er velfungerende i alle deler av Norge, da effekten er avhengig av lokalitetens beskaffenhet og spesielt hvor utsatte de er for uvær. Videre hevdet en annen informant manglende lisensordning som en barrierer for konseptet snorkelmerd (Miljøtiltak 2). Til slutt ble det uttrykt at systemtvang og tillit til eksisterende teknologi er fremtredende barrierer for implementering av mer miljøvennlig teknologi. Basert på uttalelser fra en informant er oppdrettsnæringen i Norge preget av tradisjon og optimisme. Videre utdypet informanten at enkelte oppdrettere er skeptiske til endringer i den konvensjonelle produksjonen og at det kreves konkrete bevis fra forsøk for å få gehør fra ledelsen for satsing på ny teknologi. En annen informant beskrev oppdrettere i Norge som litt naive i forhold til om eget anlegg vil forårsake lusesmitte. Dette er selvfølgelig bare noen foreløpige indikasjoner som må følges opp med bredere undersøkelser for å finne ut hva som skal til for å realisere flere miljøtiltak i næringen.

Vår analyse bygger på et sett av forutsetninger og forenklinger, og resultatene bør derfor tolkes med forsiktighet. Det gjelder særlig generaliseringen til hele Norge. Det er naturligvis ulike naturgitte og andre forhold i ulike deler av landet, som vil slå inn på ulike måter vi har abstrahert fra her (blant annet transportkostnader). Vi forutsetter at alle produksjonsområdene i Norge har uakseptabel miljøpåvirkning (det vil si er i rød sone ut fra trafikklyssystemet). Generaliseringen reflekterer ikke dagens situasjon da kun et fåtall områder er røde, men kan bli en framtidig situasjon dersom miljøutfordringene ikke håndteres.

[13] Vi har ikke undersøkt eventuelle internasjonale kostnadsanslag til sammenligning. Det er et interessant spor å forfølge i videre arbeid.

Videre tar vi ikke hensyn til usikkerhet, som også kan spille inn i valg av teknologi. Vi tar utgangspunkt i en tenkt «likevektssituasjon» uten uforutsette hendelser, som for eksempel tilfeller av giftig algeoppblomstring. Vi mener det er verdt å nevne at basisalternativet og flere av tiltakene baseres tungt på tall fra Bjørndal og Tusvik (2018), og kostnadstallene presentert i denne artikkelen er usikre på grunn av liten erfaring med de ulike produksjonsteknologiene. Marginal tiltakskostnad for de ulike tiltakene og fremstillingen av marginal tiltakskostnadskurve vil sannsynligvis endres dersom tiltakene vurderes opp mot flere eksterne miljøvirkninger. Det er også verdt å nevne at vi ikke drøfter eventuelle virkninger på andre økosystemtjenester ved utvikling og realisering av produksjonsmetodene. Dyrevelferd i form av oppdrettslaksens ve og vel ved ulike produksjonsteknologier blir heller ikke vektlagt (se for eksempel Grimsrud mfl., 2013 for verdsetting av oppdrettslaksens velferd). På nyttesiden er det også gjort relativt grove beregninger. Ideelt sett skulle man hatt egne landsdekkende verdsettingsstudier som undersøker betalingsvilligheten for å redusere miljøvirkninger av oppdrett. En kunne også eksplisitt tatt med markedsverdier som påvirkes; for eksempel redusert turisme, kommersielt laksefiske, eventuell negativ påvirkning på fiskerier og lignende, samtidig som en måtte passe på å ikke dobbelttelle velferdseffektene. Disse virkningene har vi ikke tatt med her. En mer omfattende analyse burde tatt tidsdimensjonen inn i analysen ved blant annet å gjøre forutsetninger om hvordan både vekst i produksjonen, kostnader ved nye miljøteknologier og -tiltak, betalingsvillighet for reduserte miljøvirkninger og markedspriser for laks produsert på bærekraftige måter, vil utvikle seg over tid. Dette er uansett en usikker øvelse.

Det er også naturlig i videre arbeid på dette feltet å vurdere hvordan miljøvirkningene kan internaliseres bedre i oppdretternes beslutninger. Her bør en vurdere nærmere bruk av miljø- og naturavgifter som anbefalt av Grønn Skattekommisjon (NOU 2015: 15)[14] eventuelt i kombinasjon med andre virkemidler (Grønvik og Grünfeld, 2021). En bør også ta hensyn til mulige markedssvikter i FOU av nye miljøteknologier og ulike barrierer for implementering, og hvordan utviklingstillatelser og andre ordninger ellers kan utformes best mulig for framtiden (se for eksempel Grünfeld mfl., 2021).

[14] Se Lindhjem og Magnussen (2015) og Handberg mfl. (2017) for en diskusjon av naturavgift.

REFERANSER

Asche, F. og T. Bjørndal (2011). *The economics of salmon aquaculture*. Wiley-Blackwell.

Bjørndal, T. og A. Tusvik (2018). Økonomisk analyse av alternative produksjonsformer innan oppdrett. SNF-rapport nr. 07.

Direktoratet for økonomistyring (DFØ) (2018). Veileder i samfunnsøkonomiske analyser.

Fiskeridirektoratet (2016a). Biomasse.

Fiskeridirektoratet (2016b). Tillatelse til akvakultur på land.

Fiskeridirektoratet (2020). Kart i Fiskeridirektoratet.

Fiskeridirektoratet (2021a). Biomassestatistikk etter fylke.

Fiskeridirektoratet (2021b). Redusert salgsverdi i oppdrettsnæringen i 2020.

Forskrift om krav til teknisk standard for flytende akvakulturanlegg (NYTEK-forskriften) (2011).

Føre, H. M., T. Thorvaldsen, R. K. Tinmannsvik og E. H. Okstad (2019). Kunnskap og metoder for å forebygge rømming. Faglig sluttrapport - 2019:00669 A.

Geitung, L., F. Oppedal, L. H. Stien, T. Dempster, E. Karlsbakk, V. Nola og D. W. Wright (2019). Snorkel sea-cage technology decreases salmon louse infestation by 75% in a full-cycle commercial test. *International Journal for Parasitology,* 49 (11), 843-846.

Grefsrud, E. S., T. Svåsand, K. Glover, V. Husa, P. K. Hansen, O. Samuelsen, N. Sandlund og L. H. Stien (2019). Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2019 – Miljøeffekter av lakseoppdrett. Fisken og havet nr. 2019-5.

Grimsrud, K. M., H. M. Nielsen, S. Navrud og I. Olesen (2013). Households' willingness-to-pay for improved fish welfare in breeding programs for farmed Atlantic salmon. *Aquaculture* 372-375, 19-27.

Grünfeld, L., C. M. Lie, M. N. Basso, O. Grønvik, A. Iversen, Å. M. O. Espmark og M. R. Jørgensen (2021). Evaluering av utviklingstillatelser for havbruksnæringen og vurdering av alternative ordninger for fremtiden. Menon-publikasjon 150.

Grønvik, O. og L. Grünfeld (2021). Havbruk: nye virkemidler for vern av miljø, bedre fiskevelferd og økt verdiskaping. Menon-publikasjon 79.

Gullestad, P. (2011). Effektiv og bærekraftig arealbruk i havbruksnæringen – areal til begjær. Fiskeri- og kystdepartementet.

Handberg, Ø. N., H. Lindhjem og G. Grimsby (2017). Hvor høy må en eventuell naturavgift være for å endre utbyggingsbeslutninger? Menon-publikasjon 76/2017.

Havforskningsinstituttet (2020). Generell biologi.

Hersoug, B., E. Mikkelsen og T. C. Osmundsen (2021). What's the clue; better planning, new technology or just more money? – The area challenge in Norwegian salmon farming. *Ocean & Coastal Management* 199, 105415.

Hesthagen T., R. Wienerroither, O. Bjelland, I. Byrkjedal, P. Fiske, A. Lynghammar, K. Nedreaas og N. Straube (2021, 24. november). Fisker: Vurdering av laks Salmo salar for Norge. Norsk rødliste for arter 2021. Artsdatabanken. https://www.artsdatabanken.no/lister/rodlisteforarter/2021/8149

Holan, A. B., B. Roth, M. S. W. Breiland, J. Kolarevic, Ø. J. Hansen, A. Iversen, Ø. Hermansen, B. Gjerde, B. Hatlen, A. Mortensen, I. Lein, L.-H. Johansen, C. Noble, K. Gismervik og Å. M. Espmark (2017). Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll. Nofima rapportserie 10/2017.

Holm, J. C., K. Vassbotten, H. Hansen, I. Eithun, O. Andreassen, F. Asche, F. Reppe, J. A. Grøttum og K. Thorbjørnsen (2015). Laks på land: En utredning om egne tillatelser til landbasert matfiskoppdrett av laks, ørret og regnbueørret med bruk av sjøvann. Fiskeridirektoratet.

Husa, V., T. Kutti, E. S. Grefsrud, A. L. Agnalt, Ø. Karlsen, R. Bannister, O. Samuelsen og B. E. Grøsvik (2016). Kunnskapsstatus: Effekter av utslipp fra akvakultur på spesielle marine naturtyper, rødlista habitat og arter. Rapport fra Havforskningen Nr. 8.

Hynes, S., E. Ravagnan og B. Gjerstad (2019). Do concerns for the environmental credentials of salmon aquaculture translate into WTP a price premium for sustainably farmed fish? A contingent valuation study in Ireland and Norway. *Aquaculture International* 27 (6), 1709–1723.

Iversen, A., O. Andreassen, Ø. Hermansen, T. A. Larsen og B. F. Terjesen (2013). Oppdrettsteknologi og konkurranseposisjon. Nofima rapportserie 32/2013.

Iversen, A., Ø. Hermansen, O. Andreassen, R. K. Brandvik, A. Marthinussen og R. Nystøyl (2015). Kostnadsdrivere i lakseoppdrett. Nofima rapportserie 41/2015.

Iversen, A., Ø. Hermansen, R. Nystøyl og E. J. Hess (2017). Kostnadsutvikling i lakseoppdrett: Med fokus på fôr og lusekostnader. Nofima rapportserie 24/2017.

Jensen, Ø., T. Dempster, E. B. Thorstad, I. Uglem og A. Fredheim (2010). Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences and prevention. *Aquaculture Environment Interactions* 1 (1), 71–83.

Johansen, B. B. (2014). Luseskjørt – dokumentasjon av praktisk bruk og nytte. Sluttrapport, FHF-prosjekt 900834.

Knudsen, C. (2021). Regjeringen vil gi mer bærekraftig vekst i lakseoppdrett. *E24.no*, 26. august.

Lie, A. og M. Tjora (2020). Nytte, kostnader og barrierer for miljøtiltak og -innovasjon i lakseoppdrett – En casestudie fra Vestlandet. Masteroppgave, Universitetet i Stavanger.

Lindhjem, H. og K. Magnussen (2015). Grunnlag for en nærmere utredning av en naturavgift. Rapport til Grønn Skattekommisjon. Vista Analyse 2015/20.

Liu, Y., T. W. Rosten, K. Henriksen, E. S. Hognes, S. Summerfelt og B. Vinnci (2016). Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon: Land-based closed containment system in freshwater and open net pen in seawater. *Aquacultural Engineering* 71, 1–12.

McKinsey & Company (2009). Pathways to a Low-Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve.

Mikkelsen E. I. (2019). Kapasitetsøkning i havbruk 2017/2018 – Samfunnsøkonomisk evaluering. Nofima rapportserie 13/2019.

Miljødirektoratet (2019a). Lakselus.

Miljødirektoratet (2019b). Metodikk for tiltaksanalyser – oppdatert versjon 2019.

Miljødirektoratet (2020). Akvakultur.

Miljødirektoratet, Enova, Statens vegvesen, Kystverket, Landbruksdirektoratet og Norges vassdrags- og energidirektorat (2020). Klimakur 2030: Tiltak og virkemidler mot 2030. M-1625.

Misund, B., P. Osmundsen, R. Tveterås, B. Folkvord, R. Nystøyl og K. H. Rolland (2019). Grunnrenteskatt i havbruk – Et kunnskapsgrunnlag. Rapport Nr. 88, Universitetet i Stavanger.

NOU (2013: 10). Naturens goder – om verdier av økosystemtjenester.

NOU (2015: 15). Sett pris på miljøet – Rapport fra grønn skattekommisjon.

Norges sjømatråd (2021). Nøkkeltall.

Nærings- og fiskeridepartementet (2014). Høring – melding til Stortinget om vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett.

Nærings- og fiskeridepartementet (2017). Regjeringen skrur på trafikklyset.

Nærings- og fiskeridepartementet (2018). Havbruk til havs: Ny teknologi – nye områder.

Nærings- og fiskeridepartementet (2021). Et hav av muligheter – regjeringens havbruksstrategi.

Nøstbakken L. og S. F. Selle (2020). Vil grunnrenteskatt i havbruk hindre videre vekst i næringen? *Samfunnsøkonomen* 134 (5), 44–61.

Olaussen, J. O. (2018). Environmental problems and regulation in the aquaculture industry. Insights from Norway. *Marine Policy* 98, 158–163.

Oppedal, F., F. Samsing, T. Dempster, D. W. Wright, S. Bui og L. H. Stien (2017). Sea lice infestation levels decrease with deeper 'snorkel' barriers in Atlantic salmon sea-cages. *Pest Management Science* 73 (9), 1935–1943.

Oppedal, F., S. Bui, L. H. Stien, K. Overton og T. Dempster (2019). Snorkel technology to reduce sea lice infestations: efficacy depends on salinity at the farm site, but snorkels have minimal effects on salmon production and welfare. *Aquaculture Environment Interactions* 11, 445–457.

Rosten, T. W., B. F. Terjesen, Y. Ulgenes, K. Henriksen, E. Biering og U. Winther (2011). Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg – forprosjekt. Rapportnr. A21169, Sintef.

Statistisk sentralbyrå (SSB) (2021). Familier og husholdninger.

Stien, L. H., J. Nilsson, E. M. Hevrøy, F. Oppedal, T. S. Kristiansen, A. M. Lien og O. Folkedal (2012). Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquacultural Engineering* 51, 21–25.

Stien, L. H., T. Dempster, S. Bui, A. Glaropoulos, J. E. Fosseidengen, D. W. Wright og F. Oppedal (2016). 'Snorkel' sea lice barrier technology reduces sea lice loads on harvest-sized Atlantic salmon with minimal welfare impacts. *Aquaculture* 458, 29–37.

Teknologirådet (2012). Fremtidens lakseoppdrett. Rapport 01/2012, Teknologirådet.

Tveterås, R., M. Hovland, T. Reve, B. Misund, R. Nystøyl, H. V. Bjelland, A. Misund og Ø. Fjelldal (2020). Verdiskapingspotensiale og veikart for havbruk til havs. Hovedrapport.

Walga (2014). Guidelines for Developing a Marginal Abatement Cost Curve (MACC).