

Margrethe Follesø Perander

Bærekraft innen behandling av lakselus i norsk lakseoppdrett

Kjemiske stoffer i miljøet: analysemetoder, omsetning, transport og biologiske virkninger

Bacheloroppgave i kjemi

Veileder: Øyvind Mikkelsen

April 2021

Margrethe Follesø Perander

Bærekraft innen behandling av lakselus i norsk lakseoppdrett

Kjemiske stoffer i miljøet: analysemetoder,
omsetning, transport og biologiske virkninger

Bacheloroppgave i kjemi
Veileder: Øyvind Mikkelsen
April 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for kjemi



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

I denne oppgaven blir de kjemiske behandlingsmidlene azametifos, deltametrin, cypermetrin, hydrogenperoksid og ferskvann, i tillegg til de mekaniske systemene lukkede merder, havmerder og landsbaserte lukket inneslutnings-system, vurdert som behandlingsmetoder mot lakselus. Metodene blir vurdert gjennom et bærekraftig perspektiv og på hvor godt de ivaretar laksens velferd. Eksport av laks er Norges nest største næring etter olje og gass, og lakselus er denne næringens største problem. Selv om oppdrettslaks har et mindre karbonavtrykk enn annen proteinproduksjon, har kjemiske behandlingsmidler en skadelig effekt på arter utenfor målgruppen. Mekaniske systemer har derimot potensialet til å være et mer bærekraftig alternativ. For å sikre en bærekraftig utvikling innen norsk lakseoppdrett burde de mekaniske systemene utvikles for å redusere behovet for skadelige kjemiske behandlingsmidler.

Innhold

Sammendrag	i
Innhold	ii
1 Introduksjon	1
2 Teori	2
2.1 Lakselus i norske oppdrettsanlegg	2
2.2 Sentrale metoder	3
2.2.1 Kjemiske behandlingsmetoder	3
2.2.2 Ikke-kjemiske behandlingsmetoder	7
2.3 Bærekraft	9
2.3.1 Innvirkning på arter utenfor målgruppen	9
2.3.2 Forurensning	10
3 Diskusjon	10
3.1 Laksens velferd og metoders effektivitet	10
3.1.1 Laksedødelighet	10
3.1.2 Effektivitet mot lakselus	11
3.2 Bærekraft i lakseoppdrett og behandling av lakselus	12
3.2.1 Påvirkning på marine økosystemer og arter utenfor mål- gruppen	12
3.2.2 Miljømessig bærekraft	13
3.2.3 Økonomisk og sosial bærekraft	15
4 Konklusjon	16
Referanser	16

1 Introduksjon

Oppdrett av atlantisk laks (*Salmo salar*) er en av Norges største eksportvarer. I 2016 lå Norge på andreplass når det kom til eksport av fisk og fiskeprodukter i verden med en andel på 7.6% av verdens totale eksport, og på førteplass innen eksport av oppdrettslaks^[1]. SSB estimerer at Norge produserte laks til en verdi av 68 milliarder norske kroner i 2019^[2]. Den vanligste formen for oppdrett i Norge forekommer gjennom å produsere settefisk og la laksen vokse åpne merder nært kysten. Settefisk er fisk som er klekket kunstig og føres før de blir satt ut i merder^[3]. Laksen blir så føret opp til markedsstørrelse på 4-5 kg før den blir høstet og solgt i Norge eller eksportert til resten av verden. Lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) utgjør en trussel for denne næringen, de ulike metodene for behandling av lakselus er derfor viktig for det norske næringslivet.

De kjemiske behandlingsmetodene som skal vurderes er azametifos, deltametrin, cypermetrin, hydrogenperoksid og ferskvannsbad. De er alle kategorisert som badebehandling, altså at laksen blir badet i middelet. To andre former for behandling er å tilsette behandlingsmiddelet gjennom fôr (avermektin) eller ved å benytte renseskiv, disse metodene skal ikke bli diskutert i oppgaven. Grunnen til at disse kjemiske behandlingsmidlene skal vurderes er fordi de er noen av de vanligste når det kommer til behandling av lakselus. I 2012 og 2013 var over 80% av alle lusebehandlingene i Norge gjennomført med azametifos, deltametrin eller cypermetrin^[4]. Hydrogenperoksid kom tilbake i bruk i 2009 grunnet økt resistans i lakselusen mot de mest vanlige kjemoterapeutiske midlene, og sto for 36% av behandlingene av lus i Norge i 2015^[4]. Fordi lakselusen som mange andre parasitter kan utvikle resistans mot de kjemiske behandlingsmidlene over lengre perioder med eksponering er det essensielt å utvikle alternativer for å holde luseutbruddene i sjakk. I tillegg til de kjemiske behandlingsmidlene skal mekaniske systemer vurderes. Mekaniske systemer fokuserer på å benytte et lukket anlegg eller ved å plasseres på et sted lusen ikke vanligvis kommer til. De mekaniske systemene som skal vurderes heter landbasert lukket inneslutnings-system, lukkede merder og havmerder.

I tillegg til at behandling av lakselus er viktig for den norske industrien er det også viktig at metoden som blir brukt til behandling er bærekraftig for å sikre en langvarig og fornybar akvakultur. Bærekraft har blitt et større tema de siste årene, etter at det har blitt anerkjent i samfunnet at jorden har en begrenset mengde ressurser samt at global oppvarming utgjør en trussel for miljøet. Med

økende befolkning og et begrenset areal til å dyrke mat er det naturlig å rette fokuset mot en ressurs som ikke har blitt utnyttet til sitt fulle, havet. Bærekraftig utvikling er et begrep definert som den utviklingen som dekker dagens behov samtidig som den ikke ødelegger for fremtidens generasjoner^[5]. Bærekraftig utvikling blir vanligvis delt inn i økonomisk, sosial og miljømessig bærekraft. Økonomisk bærekraft vil si at den økonomiske tryggheten for mennesker og samfunn er sikret, i denne teksten refererer begrepet det til økonomien til aktørene som driver lakseoppdrett. Sosial bærekraft handler om å sikre menneskers rett til et godt liv, gjennom tilgang til jobb, hjem og sosial infrastruktur. Miljømessig bærekraft handler om at alle handlinger som forekommer skal ha så lite effekt på miljøet at det fortsatt er en fornybar ressurs og kan benyttes av fremtidige generasjoner^[6]. Lakseoppdrett som blir drevet i dag bidrar til store mengder mat uten å bidra til overfiske som artsspesifikk fiskeri. Dette er fordi laksen som blir produsert blir klekket og oppfostret til markedsstørrelse i oppdrettsanlegget, i motsetning til en naturlig oppstående bestand.

Denne oppgaven skal fokusere på bærekraft innen behandling av lakselus i norske oppdrettsanlegg. I teorien skal kjemiske behandlingsmidler og mekaniske systemer bli beskrevet, og i diskusjonen skal de vurderes ut fra deres innvirkning på laksens velferd og for deres bærekraftige aspekter både for miljøet, for økonomien til produsenten, og for sosial bærekraft.

2 Teori

2.1 Lakselus i norske oppdrettsanlegg

Lakselus er en patogen parasitt som lever på slim, blod og hud av fisk i laksefamilien i sjøvann, og er klassifisert som en *caligid copepod* (hoppekreps)^[7]. I tillegg til at tilstedeværelsen av parasitten fører til fysiske skader på verten, åpner disse skadene for andre sykdommer, infeksjoner og stress. Det er blitt estimert dødelighet for lus-infisert smolt (laksefisk i ungdomsstadiet) under infeksjon av <2 lus, 2-4 og >5 lus per smolt for en smolt på 20 gram på henholdsvis 0.012%, 1.5% og 46.5%^[8].

Siden laks er en art som oppholder seg både i saltvann og ferskvann har den en egenskap kalt osmoregulasjon. Som vist i (2.1) og (2.2) har saltvann en langt større konsentrasjon av oppløste salter enn ferskvann, saltvann har omtrent saltkonsentrasjon på 3,3% sammenlignet med ferskvann på <0.1%. Laksen kan regu-

lere sin egen ionebalanse i saltvann ved å aktivt drikke vann og avføre natrium og klorid gjennom ionocyte i gjellene, eller gjennom nyren for å opprettholde sin ideelle ionebalanse^[9]. I ionocyten blir natrium-kalium-pumpen (Na^+/K^+ -pumpen), finnes i cellemembranen, drevet av adenosintrifosfat (ATP) til å opprettholde balansen i cellen av Na^+ og K^+ . Na^+/K^+ -pumpen bruker energi på å pumpe ut overflødige ioner til omgivelsene^[10]. Når andelen lakselus ligger mellom 0.75 lus/g og 1.6 lus/g har det blitt vist å påvirke osmosereguleringen og balansen av ioner til laks^[9].

$$[\text{salt}]_{\text{laks}} \gg [\text{salt}]_{\text{omgivelser}} \quad (2.1)$$

$$[\text{salt}]_{\text{laks}} < [\text{salt}]_{\text{omgivelser}} \quad (2.2)$$

På grunn av utbrudd av lakselus i oppdrettsanlegg er det estimert at 10% villaks dør av lakselus som i hovedsak stammer av smitte fra oppdrettslaks som rømmer^[11]. Behandlingen av lakselus er derfor viktig ikke bare for næringen men også for bestanden av villaks i Norge. Bestanden av villaks er en kilde til turisme gjennom både fritidsfiske og sportsfiske. Det er estimert at fiske av villaks har en årlig fortjeneste på 1.3 milliarder norske kroner per år^[12].

De vanligste kjemiske behandlingsmidlene for lakselus er hydrogenperoksid, azamethiphos og pyrethroider, og behandling med ferskvann. I tillegg blir det utviklet metoder som omfatter landbaserte systemer og havmerder, der sistnevnte er en ny metode fortsatt i teststadiet. For å undersøke dødeligheten av de kjemiske behandlingsmidlene på forskjellige arter blir det gjort eksponeringstester der konsentrasjonen som resulterer i 50% dødelighet blir beregnet (LC_{50}).

2.2 Sentrale metoder

2.2.1 Kjemiske behandlingsmetoder

Hydrogenperoksid

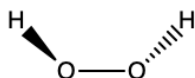
Hydrogenperoksid (H_2O_2) er et sterkt oksiderende middel. En av fordelene med hydrogenperoksid som behandlingsmiddel er at det raskt dissosierer til vann, og vil ikke bli transportert over store områder^[13].

En foreslått mekanisme for den mekaniske paralyseringen er peroksidasjon av lipid og cellulære organellemembraner ved hydroksylradikaler, og inaktivering av enzymer og DNA replikasjon^[14]. Den observerte mekanismen H_2O_2 fungerer ved at den ved å diffundere inn i lusen skaper en mekanisk paralyse, ved å skape bobler i tarmen og hemolymfer^[15]. Denne paralyseringen fører til at lusen slipper tak i laksen, og flyter til overflaten.

H_2O_2 har en lav K_{OW} (Oktanolvann-partisjonskoeffisient) på under 1. Det er regnet at en $K_{\text{OW}} \geq 5$ blir regnet som bioakkumulrende med et potensial til å vedvare i næringskjeden^[14]. Selv om H_2O_2 har en lav K_{OW} og vil raskt dissosiere til H_2O og O_2 som vist i (2.3) blir den beregnet som en risikofylt metode grunnet sin høye dødelighet for laks^[13]. H_2O_2 har blitt vist til å være 21% dissosiert etter syv dager i 4°C saltvann, og 54% dissosiert etter syv dager i 15°C saltvann^[16]. En undersøkelse av behandlingsmidler av laks fra 2019 av Overton mfl. viser at laks som ble behandlet for lakselus med H_2O_2 hadde en dødelighet på 21%^[4]. H_2O_2 har en 85-100% effektivitet mot de mobile stadiene av lakselus, og har liten effekt mot larvestadiet av parasitten^[16].



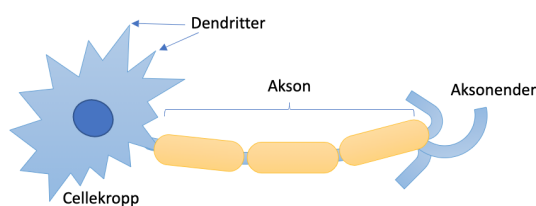
I nyere tid er det blitt påvist økt resistans i lakselus mot behandling med H_2O_2 . H_2O_2 ble reintrodusert som behandlingsmiddel etter påvist redusert sensitivitet mot andre kjemiske midler i 2009^[17].



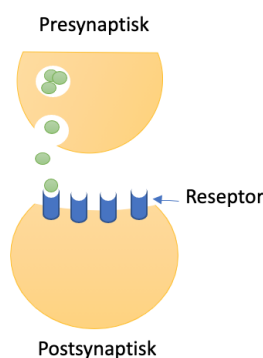
Figur 2.1: Figuren viser hydrogenperoksid.

Azametifos

Siden både azametifos og pyretroider har innvirkning på nervefunksjoner skal det kort gjennomgås. Nervecellen består som andre celler av en cellekropp med en cellekjerne (se 2.2). De korte utløperne heter dendritter og den lengre utløperen heter akson. Signaler blir sendt mellom nervecellene fra aksonet på en celle til dendritter på en annen celle gjennom et kontaktsted som kalles synapse (se



Figur 2.2: Figur av en nervecelle.



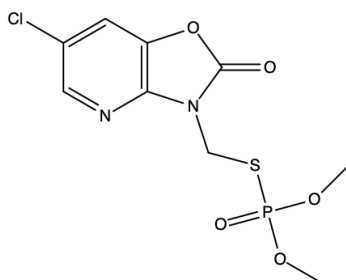
Figur 2.3: Figur av en synapse.

2.3)^[18]. Nevroner har en polar ladning mellom innsiden og utsiden, transmembranal elektrisk potensial, og natriumkanaler åpnes for å slippe natriumioner inn i cellen. Åpning og lukking av natriumkanaler skaper nerveimpulset i cellen. Når nerveimpulset når enden av aksionet løslates neurotransmitteren Acetylcolin (ACh) fra presynaptisk til postsynaptisk. Når ACh aktiverer reseptorene åpnes de for å slippe natriumioner inn i postsynaptisk, som starter en impuls i den nye nerven. Når ACh har aktivert reseptorene blir de brutt ned av Acetylcoinerase enzymer (AChE)^[18]. Azametifos er en forbindelse som inneholder en organofosfatgruppe, som vist i figur 2.4. Organofosfatgruppen fungerer som en inhibitor for AChE.

Azametifos som en inhibitor fungerer ved å binde seg til det aktive setet AChE. Aldringsprosessen sørger for at organofosfat-gruppen binder seg til det aktive setet i AChE for godt, og etterlater enzymet inaktivert^[19]. Når AChE er inaktivert vil det føre til at ACh fortsetter å aktivere reseptorene, som etterlater nerven under et konstant signal. Dette vil føre til ukoordinerte muskelbevegelser som kramper og anfall, og til kvalme og svimmelhet hos mennesker. Middelet fungerer på lakselus ved at det påfører paralyse og eventuell død^[20].

Azametifos er godt løselig i vann og har en K_{OW} på 1.05^[14]. Samme studie fra

2019 av Overton mfl. viser at laks som ble behandlet for lakselus med azametifos hadde en dødelighet på 13%^[4]. Azametifos har en påvist dødelighet på >85% på ung voksen og voksenstadiet til lakselusen, men en betydelig lavere effekt på tidligere livsstadier^[16].



Figur 2.4: Figuren viser Azametifos (S-((6-chloro-2-oxooxazolo[4,5-b]pyridin-3(2H)-yl)methyl) O,O-dimethyl phosphorothioate)(IUPAC navn generert vha Chem-Draw)

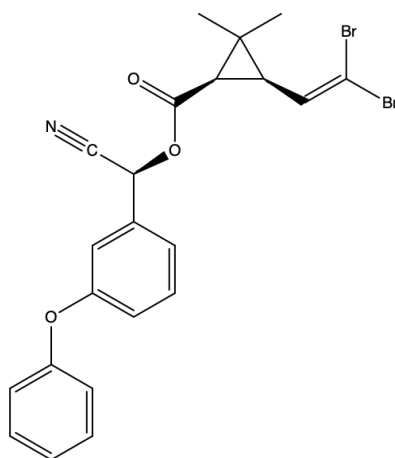
Pyretroid

Pyretroidene deltamethrin og cypermethrin er syntetiserte versjoner av det naturlige forekommende pyretrin^[21]. Pyretroidene har lavere dødelighet for pattedyr enn skadedyrene de brukes på, og fungerer ved å interferere med nervefunksjoner. Mekanismen som pyretroider virker med forekommer ved at pyretroiden angriper natriumkanaler og holder dem åpne for gjennomstrømming av natrium-ioner. Dette fører til hyperdepolarisering av nerveendingene, og leder til overstimulasjon av celler og til slutt paralyse i lakselusen^[14]. Pyretroider har en K_{OW} rundt 4.6^[14], med fordi syntetiske pyretroider raskt blir metabolisert vil det hindre stoffenes bioakkumulering i den marine næringskjeden^[14]. Studien fra 2019 av Overton mfl. viser at deltametrin har en dødelighet for laks på 13% og cypermetrin på 12%^[4]. Pyretroider er effektive mot alle stadier hos lakselusen^[16].

Ferskvann

Lakselus kan også bekjempes ved å bli badet i ferskvann, også kjent som en hyposalin behandling. Metoden består av å pumpe laksen fra merden over i en behandlingsbåt, der de blir badet i ferskvann, for så å bli pumpet tilbake i en ny merd.

Lakselus er en saltvannsparasitt og mangler egenskapen til å osmoseregulere seg



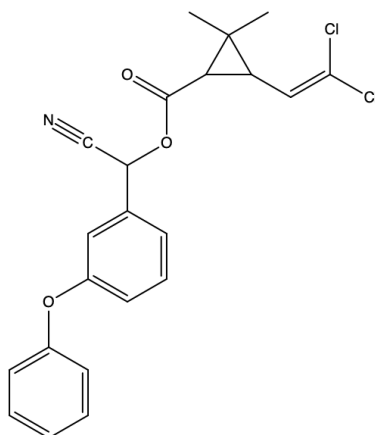
Figur 2.5: Figuren viser Deltamethrin ((S)-cyano(3-phenoxyphenyl)methyl (1R,3R)-3-(2,2-dibromovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane-1-carboxylate)(IUPAC navn generert vha ChemDraw)

selv i ferskvann grunnet den lave konsentrasjonen av salter. Tross lakselusens manglende osmoseregulasjon viser den tegn til å overleve behandling med ferskvann i større grad enn forventet^[9]^[22]. En undersøkelse fra 2019 av Sievers mfl. viser at lakselus tidlig i infeksjonsstadiet kun ble påvirket av hyposalin behandling under veldig lave konsentrasjoner av salter, eller under moderat lave konsentrasjoner over lengre perioder, i motsetning til fritt svømmende lakselus som opplever større dødelighet^[22].

2.2.2 Ikke-kjemiske behandlingsmetoder

Landbaserte systemer

Landbaserte systemer refererer til lakseoppdrettsmerder på land. Systemet kalles landbasert lukket inneslutnings-system, som bruker resirkulerende akvakultursystemer (RAS) med ferskvann. Ved å benytte et landbasert oppdrettsanlegg med ferskvann unngår man spredning av lakselus og andre parasitter i bestanden, samtidig som innvirkningen på nærmiljøet blir begrenset^[23]. Siden lakselus er et saltvannsparasitt er det forventet at landsbasert oppdrett med ferskvann skal være upåvirket av lakselus. Et prøvestudie fra 2016 av Davidson mfl. av landbaserte merder viser ingen tegn på lakselus under oppdrett, og muligheten for å produsere oppdrettslaks til markedsstørrelse dersom metoden skulle bli økonomisk konkurransedyktig^[23].



Figur 2.6: Figuren viser Cypermethrin (cyano(3-phenoxyphenyl)methyl 3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane-1-carboxylate)(IUPAC navn generert vha ChemDraw)

Lukkede merder

Lukkede merder er en form for oppdrettsmerd som er lukket for omgivelsene. Den flyter på vannet og pumper inn vann gjennom et rør plassert lengre ned i vannet. Idéen er å minimere laksens kontakt med omgivelsene og overflatevann hvor lakselusen befinner seg.

Et studie fra 2017 av Nilsen mfl. undersøkte drift av både lukkede merder og åpne merder viste at den laveste overlevelsesraten i lukkede merder var på 75.6% sammenlignet med åpen merd på 71.1%. I dette tilfellet ble det funnet at dødeligheten i lukkede merder stammet fra smittsomme vintersår, mens dødeligheten i åpne merder stammet fra de kjemoterapeutiske behandlingstilsetningene azametifos eller deltametrin^[24].

Havmerder

Havmerder er en mer nylig teknologi enn tidligere nevnte metoder. Det tar utgangspunkt i å plassere oppdrettsmerder offshore, i motsetning til nært land eller i en fjord, for å minimere punktforurensning ved å benytte seg av sterke havstrømmer^[25]. Det er blitt foreslått at plasseringen av merdene og de sterke havstrømmene kan forhindre smitte av lakselus, på grunn av store avstander mellom anleggene. Dersom laksen som blir satt i havmerden ikke har smitte fra før og ligger langt unna nærmeste oppdrettsfelt, vil det være usannsynlig at laksen får lakselus^[26].

Den største utfordringen med havmerder er å skape et miljø der laksen kan trives. Hvis vannbevegelsen skulle være for høy sammenlignet med laksens svømmeegenskaper vil laksen bli utmattet og ende opp i veggen av merden^[27]. En annen utfordring er økonomi. Kostnaden for å drifte et oppdrettsanlegg øker med avstand fra land ettersom utstyr, fisk og arbeidskraft må fraktes ut til anlegget, i tillegg til økt kostnad for materialer som tåler å bli eksponert for sterke havstrømmer og vær^[25].

2.3 Bærekraft

2.3.1 Innvirkning på arter utenfor målgruppen

For å vurdere de forskjellige metodenes innvirkning på miljøet er det viktig å se på deres effekt på arter utenfor målgruppen, mer spesifikt hvordan behandlingsmetodene påvirker arter som hummer og reker. En studie fra 2014 av Burrige mfl. viser at deltametrin er dødelig for hummer og reker på en konsentrasjon langt under anbefalt behandlingkonsentrasjon av lakselus^[14]. Det ble estimert LC₅₀ ved 60 min eksponering for behandlingsmidlene. LC₅₀ ble estimert til 0.0034 µg/L for larvestadiet til amerikansk hummer (*Homarus americanus*) når anbefalt behandlingkonsentrasjon for deltametrin var på 2.0 µg/L i 40 min^[14]. Det ble også estimert LC₅₀ for samme larvestadie av hummer til 86.5 µg/L for azametifos og 1637 mg/L for H₂O₂, når deres anbefalte dosering er henholdsvis 100 µg/L i 30-60 min og 1200-1800 mg/L i 40 min^[14]. Undersøkelse av spredning av behandlingsmidlene fra 2020 av Parsons mfl. viser også at deltametrin har en større spredning i vann enn azametifos^[20].

RAS og havmerder har i mindre grad innvirkning på arter utenfor målgruppen. RAS er et lukket system som benytter seg av resirkulering av vannet og vil derfor ikke ha direkte innvirkninger på omgivelsene. I tillegg har landbaserte systemer er at det er meget lite sannsynlig at laks unnslipper anlegget^[23]. Dette unngår at laksen har en innvirkning på bestanden av villaks i området.

Påvirkning på villaks gjennom rømming kommer gjennom smitte av sykdommer og parasitter som oppstår i oppdrettsanlegg og gjennom oppdrettslaks som parer seg med villaks^[12].

2.3.2 Forurensning

Kjemiske behandlingsmetoder blir som oftest benyttet i oppdrettsanlegg nært kysten. Kilder til forurensning vil være både de kjemiske behandlingsmidlene og øvrig forurensning som avføring og fôrrester. Disse vil oppføre seg som punktforurensninger på grunn av den beskyttende naturen i nær kyst anlegg^[25]. Punktforurensning referer til forurensning som ikke naturlig blir fordelt i omgivelsene, men på grunn av lite bevegelse i vannet og grunt vann kun legger seg på bunnen i høye konsentrasjoner. I tillegg til disse forurensningskildene må transport av varen tas i betraktning. Norge eksporterer over 80% av laksen som blir produsert som hel fisk^[28], og står for store deler av verdens konsumerte laks, som leder til utslipp av drivhusgasser som CO₂ gjennom transport av varen.

RAS kan unngå utslipp ved frakt av varer ved å ha landbaserte oppdrettsanlegg på land nært markedet. En viktig faktor innen forurensning er transport av varen. Ved oppdrettsanlegg nær kysten i Norge vil fisken måtte bli transportert over lengre strekninger til markedet, mens et RAS system vil kunne bli satt opp nært markedet der laks har stor etterspørsel, som kan redusere utslipp ved transport. Havmerder kan som sagt redusere punktforurensning som ofte er et problem med oppdrettsanlegg nær kysten. På grunn av det store volumet med vann og de naturlige strømmingene vil forurensningskilder som avføring og overflødig mat bli fordelt over et større område, istedenfor å legge seg på havbunnen.

Et annet viktig punkt når det kommer til forurensning er å sammenligne produksjon av laks til andre landbaserte proteinproduksjoner (her ment produksjon av proteinrik næring til menneskeforbruk). Produksjon av storfe sammenlignet med laks viser at storfe har et ti ganger større karbonfotavtrykk per kilo enn laks^[6]. Mengden protein laksen produserer per mengde protein i fôret er dobbelt så høy som det storfe produserer^[6]. Dette er siden laks er kaldblodig og ikke bruker energi på temperaturregulering som pattedyr gjør.

3 Diskusjon

3.1 Laksens velferd og metoders effektivitet

3.1.1 Laksedødelighet

For å vurdere om en metode for behandling av lakselus er bærekraftig er det viktig å vurdere dødeligheten for laksen som blir behandlet. Bruk av kjemiske

behandlingsmidler i norske oppdrettsanlegg viste at H_2O_2 var mest dødelig for laksen på 21% dødelighet, med azametifos og deltametrin på 13% og cypermetrin på 12%. Siden laks er osmoregulerende er ikke behandling med ferskvann direkte dødelig for fisken, men metoden kan forårsake stress ettersom fisken blir fysisk flyttet over i ferskvannsbadet. Laks på <2 kg som blir behandlet med ferskvann vil ha en høyere økt dødelighet enn laks <2 kg som blir behandlet med H_2O_2 ^[29], mulig grunnet skader på gjeller og stress. Dersom behandling med ferskvann kunne blitt forbedret til å ikke forårsaker stress og andre skader ville den vært å foretrekke blant de kjemiske behandlingsmidlene. RAS kan produsere markedsstørrelse laks uten å benytte kjemiske behandlingsmidler utenom i egg- og klekkefasen der de ble behandlet med H_2O_2 for å bekjempe en soppinfeksjon^[23]. Laksen i RAS opplevde ingen andre infeksjoner eller lakselus. Laks i havmerder og lukkede merder har lavere sannsynlighet for å bli angrepet av lakselus, og vil derfor kreve behandling sjeldnere. En utfordring med havmerder er at de ikke kan plasseres i områder med sterke strømmer eller bølger, da laksen ikke klarer å håndtere slike omgivelser^[26].

3.1.2 Effektivitet mot lakselus

For å se på effektiviteten av behandlingsmetodene er det viktig å se hvordan de fungerer. De kjemiske behandlingsmidlene vil bli brukt for å behandle en lakselusinfeksjon som har forekommet, i motsetning til de mekaniske metodene som fokuserer på å forebygge en eventuell infeksjon. For laksens velferd virker det bedre med en metode som unngår infeksjonen, fremfor å behandle en infeksjon som har skjedd. Det er viktig å merke seg at de kjemiske behandlingsmetodene også påfører laksen stress, som kombinert med en lusinfeksjon kan føre til dårlig laksevelferd og økt dødelighet. I dette tilfellet virker noen grad av forebygging av infeksjonen som en bedre løsning sammenlignet med kun å behandle en infeksjon som oppstår.

Av de kjemiske behandlingsmidlene har H_2O_2 og azametifos dårlig effektivitet mot egg- og larvestadiet til lakselusen, og en effektivitet på $\geq 85\%$ mot lus i voksenstadiet. I tillegg har det blitt påvist at lakselusen blir mer resistent mot både H_2O_2 og azametifos^{[17][30]}. Behandling med ferskvann var mindre effektivt mot lus som hadde festet seg på laks enn på frittsvømmende lus, og var kun effektivt under veldig lave saltkonsentrasjoner. Pyretroider var effektive mot lakselus i alle stadier, men det er blitt påvist økt resistans i lakselusen mot deltametrin

og cypermetrin^{[31][32]}. Av de mekaniske forebyggende metodene var det kun RAS som har blitt påvist å være 100% effektiv. Lukkede merder og havmerder kan senke risiko for infeksjon, og i en treårig studie fra 2017 av Nilsen mfl. av effektiviteten av lukkede merder opplevde 4 av 11 merder ingen smitte av lus under oppdrett av laks^[24].

Ut fra et dyrevelferdsperspektiv vil de kjemiske behandlingsmetodene ha størst negativ innvirkning. Både azametifos, pyretroider og H₂O₂ er dødelig for laksen, og behandling med ferskvann fører til stress og mulige skader som kan føre til død. I tillegg blir disse behandlingene brukt etter at det har kommet et utbrudd av lakselus hos fisken. Lakselusen gir sår som kan få infeksjoner, som igjen må bli behandlet. For laksens velferd er det blitt vurdert at forebygging er favorisert over behandling, ettersom den vil føre til mindre skader og død. De mest effektive metodene for forebygging fra mest effektiv er RAS, lukkede merder og havmerder.

3.2 Bærekraft i lakseoppdrett og behandling av lakselus

3.2.1 Påvirkning på marine økosystemer og arter utenfor målgruppen

For å bestemme om en behandlingsmetode er miljømessig bærekraftig må deres innvirkning på arter utenfor målgruppen undersøkes. De kjemiske behandlingsmetodenes dødelighet ovenfor amerikansk hummer blitt testet og estimert, og de kjemiske behandlingsmetodene ble rangert fra minst til mest dødelig som deltametrin, azametifos, H₂O₂. Burrige mfl. sin studie fra 2014 viser til at reker og andre arter som ligner lakselus biologisk er sårbare for kjemiske behandlingsmetoder^[14]. Det også påvist at konsentrasjoner av cypermetrin og deltametrin som er 100 og 20 ganger lavere enn anbefalt dosering var dødelig for krabbelarver (*Metacarcinus edwardsii*) etter henholdsvis 30 og 40 min eksponering^[33]. I dette studiet etterlot doseringen 100% av krabbelarvene død eller døende. Basert på de kjemiske behandlingsmidlenes effekt på arter utenfor målgruppen selv med lavere konsentrasjoner er det mulig å fastslå at de har en negativ innvirkning på det marine økosystemet. Ferskvann som behandlingsmiddel består i å bade laksen i ferskvann før den blir sluppet tilbake til merden og har derfor ingen direkte innvirkning på arter i området rundt oppdrettsmerden, og er derfor favoriserbar med tanke på innvirkningen på arter utenfor målgruppen.

For å vurdere hvordan et kjemikalie påvirker omgivelsene er det også viktig å

vurdere dens evne til å bioakkumulere og biodegradere. Å vurdere et behandlingsmiddels lipofilitet gjennom K_{OW} og dens evne til å bli brutt ned gjennom metabolisme er viktig for å se hvor stor innvirkning den kan ha på det marine økosystemet^[19]. Basert på kjemikalienes K_{OW} blir det regnet av pyretroider har størst evne til å bli bioakkumulert og værende i den marine næringskjeden. Fordi pyretroider blir raskt metabolisert vil de derimot ikke bli bioakkumulert til en grad som er regnet som truende for det marine økosystemet^[14]. Deltametrin har blitt vist til å forbli i sedimentet under merden med en halveringstid på 140 dager, men i lave konsentrasjoner over større områder^[34]. Azametifos og H_2O_2 vil forbli i vannfasen basert på deres lave K_{OW} . Selv om azametifos og pyretroider ikke vil bli bioakkumulert i stor grad, vil de fortsatt være skadelig fordi de spres i områder, og er dødelig i mindre konsentrerte mengder enn den anbefalte doseringen. For å forhindre dette burde andre alternativer undersøkes.

3.2.2 Miljømessig bærekraft

I tillegg til spredning av behandlingsmidlene i området rundt merden har behandlingsmetodene en indirekte forurensning på miljøet. Punktforurensning under tradisjonelle, åpne nær kysten, oppdrettsanlegg omfatter rester fra kjemiske behandlingsmiddel, avføring fra laksen og rester av fôr. Punktforurensning kan bli motvirket ved å benytte havmerder for å spre forurensningen til en lavere konsentrasjon, eller ved å benytte RAS for å samle opp forurensningen og rense den. Eventuelt kan avfallet fra RAS bli benyttet til å gjødsle jordbruk på grunn av nitrogeninnholdet, som ville bidratt til å gjøre RAS mer bærekraftig i forhold til forurensning^[35]^[36].

Om man sammenligner arealforbruk mellom landbasert og marin proteinproduksjon vil det være en klar fordel at marin produksjon kan utnytte en tredje dimensjon, havdypet. Den eneste metoden som ikke utnytter havets volum er RAS, som krever store arealer på land for å bli driftet, areal som kunne blitt brukt til annen infrastruktur. Selv om Norge har en lang kystlinje er det lite av arealet som kan benyttes til nær kyst oppdrett. Oppdrettsanlegg krever gode forhold for å sikre laksens velferd, dette inkluderer god havstrøm, stabile temperaturer og saltinnhold, samt at merdene er skjernet for uvær. I tillegg må man for å unngå smitte mellom to ulike oppdrettsanlegg ha 2.5 km avstand mellom dem^[37]. I tillegg har den norske regjeringen satt begrensninger på hvor mye laks som kan produseres i anleggene, maksimalt tillatt biomasse (MTB)^[38]. Dette er

er beregnet ut fra smitte av lakselus fra tidligere år^[37]. Årsaken til at denne begrensningen eksisterer er for å forsikre at ikke produksjonen overgår kapasiteten på havområdene nær kysten, blant annet for å begrense smitte fra lakselus. Men det fungerer også som motivasjon for å utvikle nye produksjonsmetoder offshore eller på land. Andre næringer kjemper også om plassen, for eksempel fising av villaks og olje- og gasslinjer fra offshore plattformer^[37]. For å unngå denne kampen om plass kan det bygges ut havmerder eller RAS. Havmerder kan utnytte arealer som ikke er ettertraktet til andre næringer. Metoden krever fortsatt et område som ivaretar laksens velferd, og et forsøk for oppdrett av laks i havmerder fra 2021 av Hvas mfl. viser til at laks kan bli produsert i havmerder med velferden i behold^[27].

I de siste årene har det blitt et større fokus på å spise mat som er kortreist og derfor har et lavere karbonavtrykk (mengde CO₂ sluppet ut under produksjon og transport) i samfunnet. Mesteparten av laksen som blir spist i verden blir eksportert fra de få landene som driver oppdrett. Dette fører til store mengder utslipp av klimagasser ved transport. Norge eksporterer 97% av laksen som blir produsert til resten av verden^[37], og selv om dette er positivt for norsk næringsliv, er det en stor kilde til utslipp. For å redusere utslippet som kommer med langreist mat kunne norske selskaper driftet RAS i de områdene som har dårlige muligheter for lakseoppdrett i havet, men som har stor etterspørsel etter laks. Dette vil ha en positiv miljømessig effekt og være framtidsrettet innen teknologi. Havmerder vil derimot ha et økt utslipp av klimagasser på grunn av plasseringen offshore. Utstyr, laks og personell må bli fraktet til og fra anlegget med båt. Dersom det er mulig å benytte fornybare energikilder for å drifte båter på havet, som elektrisitet eller hydrogen, har havmerder et stort potensial for å bli miljømessig bærekraftig. Behandling med ferskvann krever at behandlingsbåter reiser ut til merdene og utfører behandlingen til sjøs, som gir et utslipp av naturgasser med mindre båter drevet av fornybar energi blir brukt.

Ut fra de forskjellige behandlingsmetodene er det blitt funnet at de kjemiske behandlingsmetodene utenom ferskvann utgjør en for stor trussel for det marine økosystemet til å vurderes som bærekraftig. Ferskvann har ingen negativ innvirkning på økosystemet, men metoden krever en behandlingsbåt for å benyttes. RAS og lukkede merder har ingen innvirkning på det marine økosystemet ettersom slammet samles opp og sendes enten til rensing eller resirkulering. Havmerder fører til forurensning, men på grunn av havets strømmer vil avfallet og

eventuelle behandlingsmidler bli fordelt slik at konsentrasjonen på avfall senkes.

3.2.3 Økonomisk og sosial bærekraft

For tradisjonelle oppdrettsmerder som er i drift i dag står valget mellom å fortsette driften og behandle lakselus med kjemiske behandlingsmetoder eller å investere i ny teknologi. Å bygge nye merder eller flytte produksjonen på land eller offshore er kostbart, og må derfor være økonomisk gunstig i lengden for å bli vurdert. Selv om mange produsenter fokuserer på miljømessig bærekraft er vanligvis den økonomiske bærekraften driveren. Samtidig er det gjerne de store produsentene som har midler til å utvikle ny teknologi og ta denne i bruk. Som tidligere sett er det en dødelighet opp mot 21% når kjemiske behandlingsmidler blir benyttet på laksen. Dette, i tillegg til at åpne merder opplever rømming av laks, vil bidra til kontinuerlige økonomiske tap. Ved å investere i RAS eller lukkede merder kan dette økonomiske tapet bli redusert. Ved å investering i havmerder vil behovet for behandling av lakselus redusere som vil gi en økonomisk gevinst. Drift av RAS har blitt vurdert i en økonomisk analyse fra 2019 av Bjørndal mfl. og funnet til å være dyrere enn tradisjonelle åpne merder^[39], men dersom man etablerer anlegg nært de store markeder vil det redusere både kostnadene og ikke minst utslipp fra transport.

Økt fokus på bærekraft og miljøvennlighet har gjort at merkevarer som markedsførers med lavt karbonavtrykk, eller er produsert med lavt vannforbruk, blir mer populære. De selskapene som produserer laks på en miljømessig bærekraftig måte kan benytte seg av dette for økonomisk gevinst gjennom å selge et “grønt” produkt. En undersøkelse i Spania viser at de kundene som er opptatt av bærekraftige produkter var villige til å betale opp mot 37% mer for et miljøvennlig produkt^[40]. Miljømessig bærekraft kan derfor bli en del av merkevaren for å øke popularitet i markedet og gjøre det mer økonomisk bærekraftig å fokusere på en dyrere, men mer miljøvennlig produksjon. Her kan også produsentene bli presset av forbrukerne til å utvikle mer miljøvennlige produkter dersom forbruketatferden skulle favorisere det over alternativene.

Arbeidsplasser er viktig for norsk økonomi, og lakseoppdrett kan tilby tidligere fiskeriarbeidere ny arbeidsplass etter nedbyggingen av tradisjonell fiske^[37]. Å tilby arbeidsplasser er viktig for å opprettholde sosial bærekraft i samfunnet. I tillegg kan det å bygge en bærekraftig oppdrettsindustri bidra til å styrke lokalbefolkningen langs kysten økonomisk, og motvirke fraflytning fra distriktene. Den

eneste metoden som har negativ effekt på arbeidsplasser i Norge er opprettelsen av RAS nærmere markedene, siden de ville benytte den lokale arbeidskraften.

For produsentene vil alltid den økonomiske bærekraften være viktigere enn den miljømessige og sosiale, og det er kun dersom man ser en økonomisk gevinst man vil legge om driften mer miljøvennlig. For å sikre en fremtidig bærekraftig lakseproduksjon i Norge, er det behov for å endre forbrukeratferd, samt at offentlige må gi økonomisk støtte til produsenter som fokuserer på miljøvennlig produksjon, samt opprettholder arbeidsplasser og bosetning i distriktene. I tillegg kan man forvente at det på et tidspunkt vil komme strengere regler for utslipp av kjemiske behandlingsmidler, som produsentene må være forberedt på.

4 Konklusjon

Ut i fra laksens velferd og miljømessig bærekraft vil det være foretrukket å fase ut bruk av de kjemiske behandlingsmetodene. Unntaket er bruk av ferskvann som kan forbedres slik at den ivaretar laksens velferd. For økonomisk bærekraft vil det derimot være mest lønnsomt å fortsette tradisjonelle merder og kjemisk behandling av lakselus.

De mekaniske systemene RAS og lukkede merder er bedre for laksens velferd fordi de fokuserer på forebygging fremfor behandling. Havmerder er avhengige av å være lokalisert på områder som ikke skader laksen, men vil også redusere mulighet for infeksjoner av lakselus. Økonomisk sett vil det kreve ressurser å bygge disse systemene, og drift kan potensielt bli dyrere enn drift av åpen merd nær kysten. RAS har mulighet for å bli driftet nært markedet for å minimere utslipp med transport, mens havmerder vil kunne unntytte havområder istedenfor å ta opp landareal.

I og med at oppdrettsarealer langs kysten er begrenset burde de mekaniske systemene RAS og havmerder bli prioritert som den nye satsingen innen norsk oppdrett. Begge metodene reduserer infeksjon av lakselus helt eller delvis, samt at bruk av kjemisk behandlingsmiddel i havmerd ikke gir punktfurensning. Satsing på disse metodene vil gi mulighet for bærekraftig utvikling av norsk laks.

Referanser

- [1] FAO, “The state of world fisheries and aquaculture 2018 - meeting the sustainable development goals,” 2018. (Åpnet 24.04.2021).
- [2] SSB, “Aquaculture (terminated in statistics norway),” 2020. (Åpnet 24.04.2021).
- [3] A. Hallenstvedt, “SNL: Settefisk.” (Åpnet 27.04.2021).
- [4] K. Overton, T. Dempster, F. Oppedal, T. S. Kristiansen, K. Gismervik, and L. H. Stien, “Salmon lice treatments and salmon mortality in norwegian aquaculture: a review,” *Reviews in Aquaculture*, vol. 11, no. 4, pp. 1398–1417, 2019.
- [5] G. A. Kåre Olerud, Andreas Tjernshaugen, “SNL: Bærekraftig utvikling.” (Åpnet 22.04.2021).
- [6] C. E. Boyd, L. R. D’Abramo, B. D. Glencross, D. C. Huyben, L. M. Juares, G. S. Lockwood, A. A. McNevin, A. G. J. Tacon, F. Teletchea, J. R. Tomasso, C. S. Tucker, and W. C. Valenti, “Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges,” *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 51, no. 3, pp. 578–633, 2020.
- [7] A. J. Mordue and M. A. Birkett, “A review of host finding behaviour in the parasitic sea louse, *lepeophtheirus salmonis* (caligidae: Copepoda),” *J Fish Dis*, vol. 32, no. 1, pp. 3–13, 2009.
- [8] K. W. Vollset, “Parasite induced mortality is context dependent in atlantic salmon: insights from an individual-based model,” *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, pp. 17377–17315, 2019.
- [9] G. N. Wagner, R. S. McKinley, P. A. Bjørn, and B. Finstad, “Short-term freshwater exposure benefits sea lice-infected atlantic salmon,” *Journal of fish biology*, vol. 64, no. 6, pp. 1593–1604, 2004.
- [10] J. Boyle, “Lehninger principles of biochemistry (4th ed.): Nelson, d., and cox, m,” *Biochemistry and Molecular Biology Education*, vol. 33, no. 1, pp. 74–75, 2005.
- [11] E. B. Thorstad and B. Finstad, “Impacts of salmon lice emanating from salmon farms on wild atlantic salmon and sea trout,” *NINA Report [1848]*, 2018.

- [12] Y. Liu, J. Olaf Olaussen, and A. Skonhoft, “Wild and farmed salmon in Norway—a review,” *Marine policy*, vol. 35, no. 3, pp. 413–418, 2011.
- [13] K. Overton, F. Samsing, F. Oppedal, S. Dalvin, L. H. Stien, and T. Dempster, “The use and effects of hydrogen peroxide on salmon lice and post-smolt Atlantic salmon,” *Aquaculture*, vol. 486, pp. 246–252, 2018.
- [14] L. E. BurrIDGE, M. C. Lyons, D. K. H. Wong, K. MacKeigan, and J. L. VanGeest, “The acute lethality of three anti-sea lice formulations: Alpha-max®[®], salmosan®[®], and interox®[®]paramove™50 to lobster and shrimp,” *Aquaculture*, vol. 420-421, pp. 180–186, 2014.
- [15] M. A. Urbina, J. P. Cumillaf, K. Paschke, and P. Gebauer, “Effects of pharmaceuticals used to treat salmon lice on non-target species: Evidence from a systematic review,” *Science of The Total Environment*, vol. 649, pp. 1124–1136, 2019.
- [16] L. BurrIDGE, J. S. Weis, F. Cabello, J. Pizarro, and K. Bostick, “Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects,” *Aquaculture*, vol. 306, no. 1, pp. 7–23, 2010.
- [17] K. O. Helgesen, H. Romstad, S. M. Aaen, and T. E. Horsberg, “First report of reduced sensitivity towards hydrogen peroxide found in the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* in Norway,” *Aquaculture Reports*, vol. 1, pp. 37–42, 2015.
- [18] P. Holck, “SML: Nervecelle.” (Åpnet 26.04.2021).
- [19] W. G. Landis, R. M. Sofield, and M.-H. Yu, *Introduction to environmental toxicology : molecular substructures to ecological landscapes*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 5th edition. ed., 2018.
- [20] A. E. Parsons, R. H. Escobar-Lux, P. N. Sævik, O. B. Samuelsen, and A.-L. Agnalt, “The impact of anti-sea lice pesticides, azamethiphos and deltamethrin, on European lobster (*Homarus gammarus*) larvae in the Norwegian marine environment,” *Environmental Pollution*, vol. 264, 2020.
- [21] S. E. Manahan, *Environmental Chemistry*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 10th ed. ed., 2017.
- [22] M. Sievers, F. Oppedal, E. Ditría, and D. W. Wright, “The effectiveness of

- hyposaline treatments against host-attached salmon lice,” *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, pp. 6976–6976, 2019.
- [23] J. Davidson, T. May, C. Good, T. Waldrop, B. Kenney, B. F. Terjesen, and S. Summerfelt, “Production of market-size north american strain atlantic salmon *salmo salar* in a land-based recirculation aquaculture system using freshwater,” *Aquacultural Engineering*, vol. 74, pp. 1–16, 2016.
- [24] A. Nilsen, K. V. Nielsen, E. Biering, and A. Bergheim, “Effective protection against sea lice during the production of atlantic salmon in floating enclosures,” *Aquaculture*, vol. 466, pp. 41–50, 2017.
- [25] B. Belton, D. C. Little, W. Zhang, P. Edwards, M. Skladany, and S. H. Thilsted, “Farming fish in the sea will not nourish the world,” *Nature communications*, vol. 11, no. 1, pp. 5804–5804, 2020.
- [26] A. Johannesen, Ø. Patursson, J. Kristmundsson, S. P. Dam, and P. Klebert, “How caged salmon respond to waves depends on time of day and currents,” *PeerJ (San Francisco, CA)*, vol. 8, pp. e9313–e9313, 2020.
- [27] M. Hvas, O. Folkedal, and F. Oppedal, “Fish welfare in offshore salmon aquaculture,” *Reviews in aquaculture*, vol. 13, no. 2, pp. 836–852, 2021.
- [28] H.-M. Straume, “Here today, gone tomorrow: The duration of norwegian salmon exports,” *Aquaculture economics & management*, vol. 21, no. 1, pp. 88–104, 2017.
- [29] C. Sviland Walde, B. Bang Jensen, J. M. Pettersen, and M. Stormoen, “Estimating cage-level mortality distributions following different delousing treatments of atlantic salmon (*salmo salar*) in norway,” *J Fish Dis*, 2021.
- [30] K. Kaur, K. O. Helgesen, M. J. Bakke, and T. E. Horsberg, “Mechanism behind resistance against the organophosphate azamethiphos in salmon lice (*lepeophtheirus salmonis*),” *PLoS One*, vol. 10, no. 4, pp. e0124220–e0124220, 2015.
- [31] M. J. Bakke, C. Agusti, J. C. Bruusgaard, A. Y. M. Sundaram, and T. E. Horsberg, “Deltamethrin resistance in the salmon louse, *lepeophtheirus salmonis* (krøyer): Maternal inheritance and reduced apoptosis,” *Sci Rep*, vol. 8, no. 1, pp. 8450–8414, 2018.
- [32] S. Sevatdal, L. Copley, C. Wallace, D. Jackson, and T. E. Horsberg, “Monito-

- ring of the sensitivity of sea lice (*lepeophtheirus salmonis*) to pyrethroids in norway, ireland and scotland using bioassays and probit modelling,” *Aquaculture*, vol. 244, no. 1, pp. 19–27, 2005.
- [33] P. Gebauer, K. Paschke, C. Vera, J. E. Toro, M. Pardo, and M. Urbina, “Lethal and sub-lethal effects of commonly used anti-sea lice formulations on non-target crab *metacarcinus edwardsii* larvae,” *Chemosphere*, vol. 185, pp. 1019–1029, 2017.
- [34] W. Ernst, K. Doe, A. Cook, L. Burrige, B. Lalonde, P. Jackman, J. G. Aubé, and F. Page, “Dispersion and toxicity to non-target crustaceans of azamethiphos and deltamethrin after sea lice treatments on farmed salmon, *salmo salar*,” *Aquaculture*, vol. 424-425, pp. 104–112, 2014.
- [35] J. van Rijn, “Waste treatment in recirculating aquaculture systems,” *Aquacultural engineering*, vol. 53, pp. 49–56, 2013.
- [36] S. AS, “Fish sludge for fertilizer,” 2019. (Åpnet 29.04.2021).
- [37] B. Hersoug, E. Mikkelsen, and T. C. Osmundsen, “What’s the clue: better planning, new technology or just more money? - the area challenge in norwegian salmon farming,” *Ocean & coastal management*, vol. 199, 2021.
- [38] R. Finansdepartementet, “NOU 2019: 18 skattlegging av havbruksvirksomhet: 3 om havbruksvirksomhet.” (Åpnet 30.04.2021).
- [39] T. Bjørndal and A. Tusvik, “Economic analysis of land based farming of salmon,” *Aquaculture economics & management*, vol. 23, no. 4, pp. 449–475, 2019.
- [40] A. I. Sanjuán, M. Sánchez, J. M. Gil, A. Gracia, and F. Soler, “Brakes to organic market enlargement in spain: consumers’ and retailers’ attitudes and willingness to pay,” *International journal of consumer studies*, vol. 27, no. 2, pp. 134–144, 2003.

