



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Industriell økonomi	Vårsemesteret, 2019 Åpen
Forfatter: Magnus Sundby Kinn Haavard Simonsen	 (signatur forfatter)  (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Veileder(e): Bård Misund	
Tittel på masteroppgaven: Bioøkonomisk analyse av negative eksternaliteter mellom lakseoppdrettsanlegg Engelsk tittel: A bioeconomic analysis of negative externalities between salmon farms	
Studiepoeng: 30	
Emneord: lakselus, negative eksternaliteter, lakseoppdrett, sykdom	Sidetall: 78 + vedlegg/annet: 12 Stavanger, 10/06/2019

Forord

Denne oppgaven er skrevet som avsluttende del av mastergraden i Industriell Økonomi ved Universitetet i Stavanger våren 2019.

Vi ønsker å takke venner og kjære som har støttet oss gjennom denne studieperioden.

Vi vil takke veileder Bård Misund for konstruktive og konkrete tilbakemeldinger, samt veiledende samtaler.

Innholdet i oppgaven belyser et svært dagsaktuelt tema innenfor oppdrettsnæringen og vi har hatt en god lærekurve av å kunne fordype oss i dette temaet.

Magnus Sundby Kinn

Haavard Simonsen

Stavanger 09.06.18

Sammendrag

Norsk oppdrettsnæring har vært en industri i stadig vekst helt frem til 2015, hvor problemer knyttet til blant annet lakselus og sykdom satte en brems på veksten. Næringen har alltid slitt med denne type negative faktorer, da det alltid har vært en del av laksens naturlige miljø. Oppdrettsnæringen har ført til en oppblomstring av disse problemene, og det ble nødvendig å innføre mottiltak som begrenset produksjonen. Større produksjonsvolum og flere oppdrettsanlegg i nærheten av hverandre fremmer vekst i negative eksternaliteter mellom anlegg. Det er viktig å kunne styrke forståelsen av de komplekse biologiske faktorene som spiller inn på laksens helse, velferd og trivsel, samt hvordan dette kan påvirke oppdretterne økonomisk.

I denne oppgaven er det gjennomført en kvalitativ studie med grunnlag i eksisterende litteratur for å bygge en bioøkonomisk modell. Denne bioøkonomiske modellen tar høyde for negative eksternaliteter og avstand til smittekilder som gir et uttrykk for å beregne potensialet for økonomiske tap. Oppgavens hovedfokus er hvordan oppdretterne selv er med på å påvirke næringen med tanke på spredning av lakselus og sykdom.

Resultatene viser at lus har potensiale for å redusere profitten med mellom 11,5 % og 29,7 %, mens sykdom har potensiale for å redusere profitten med mellom 20,6 % og 25,5 %. Det betyr at lus har en mye større effekt på utfallsrommet til profittreduksjon enn spredning av sykdom. Dette skyldes at lus ofte har en høyere konsentrasjon enn tilfeller av sykdom. Videre viser modellen at grenseverdien for produksjonskostnader knyttet til implementering av ny teknologi for å redusere negative eksternaliteter er 3,22 % høyere enn produksjonskostnadene i dag for tradisjonelt oppdrett.

Figurliste

Figur 1: Mengde oppdrettslaks produsert fra 1992-2017 (SSB, 2018b).....	1
Figur 2: Illustrasjon av laksens livsløp (Kalager & Hellen, 2018).....	6
Figur 3: Oversikt over de 13 produksjonsområder (Fiskeridirektoratet, 2019a).....	10
Figur 4: Oppdrettsanlegg i Hardangerfjorden (Haraldsen)	13
Figur 5: Negative eksternaliteter (McConnell et al., 2013).....	15
Figur 6: Skjæringen mellom miljø, patogen og vert (Grefsrud et al., 2018).....	17
Figur 7: Laks som eksponeres for patogener (Grefsrud et al., 2018).....	18
Figur 8: Forekomster av virussykdommer i perioden 2008-2018 (Hjeltnes et al., 2019)	20
Figur 9: Antall rapportert rømt oppdrettslaks(Grefsrud et al., 2018).....	21
Figur 10: Oversikt over gjennomsnittlige, nasjonale lusetall fra 2014 til 2018 (Lusedata, 2019).....	25
Figur 11: Oversikt over lusetall for hver enkelt fylke i 2018 (Lusedata, 2019).....	26
Figur 12: Opplevd effektivitet ved forskjellige behandlingsmetoder (Hjeltnes et al., 2019)...	30
Figur 13: Offshoreløsning for oppdrett fra Salmar utenfor Frøya (Espmark, 2019).....	33
Figur 14: Integrrert havbruk med alger, blåskjell, laks og virvelløse dyr (Bellona, 2013)	34
Figur 15: Modellering av L og P når m øker og $Q < 1$	39
Figur 16: SIR-modellen (Ögüt, 2001)	40
Figur 17: Lokaliteter med ulike topologiske forhold (FHF, 2018)	43
Figur 18: Datasimulering av spredning av lakselus etter 2 døgn (Havforskningsinstituttet, 2018).....	43
Figur 19: Datasimulering av lakselus i Hardangerfjorden (Havforskningsinstituttet, 2018)...	44
Figur 20: Virusspredning fra to ulike lokaliteter. Røde piler viser strømretningene (FHF, 2018).....	45
Figur 21: Dagens soneinndeling (rød og grønn sirkel), og alternativ sone (gul sirkel) (FHF, 2018).....	46
Figur 22: Eksport av fersk laks etter uke for 2018, kilopris (NOK) (SSB, 2019).....	49
Figur 23: Beregnet salgspris pr. kilo solgte laks (Fiskeridirektoratet, 2018)	50
Figur 24: Beregnede kostnader per kilo produsert fisk i perioden 2008-2017 (Fiskeridirektoratet, 2018).....	52
Figur 25: Grafisk representasjon av Q-verdi for oppdrettsområder, 2018	53
Figur 26: Forskyvning av tilbudskurven ved internalisering av eksternaliteter.....	59
Figur 27: Sammenligning mellom produksjonskostnad i dag og grensekostnad.....	60

Figur 28: Potensielt tap av profitt ved variasjoner i lusevekst	61
Figur 29: Potensielt tap av profitt ved variasjoner i smittede bestand ved ulike soner	62
Figur 30: Eksempel på situasjon hvor smittet bestand utgjør 100 % av egen produksjon.....	63
Figur 31: Potensielt tap av profitt ved variasjoner i smitterate	64
Figur 32: Potensielt tap av profitt ved variasjoner i bestanden som er smittet av sykdom	65
Figur 33: Eksempel på nøkkellokasjon (rød sirkel) som kan påvirke andre oppdrettsanlegg (blå sirkel) (Fiskeridirektoratet, 2019a).....	70

Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over antall helsekontroller per år basert på antall matfisk i akvakulturanlegget	8
Tabell 2: Norske myndigheters hovedmål for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring (Taranger et al., 2011)	16
Tabell 3: Andel lokaliteter som har gjennomgått behandling mot lakselus (Lusedata, 2019)..	27
Tabell 4: Oversikt over gjennomsnittlige lusetall per år (månedlige tall er i Appendix A.2) (Lusedata, 2019).....	53
Tabell 5: Oversikt over sykdomstall (Hjeltnes et al., 2019) med tilhørende R-verdier per år, fra 2008-2018	55
Tabell 6: Oversikt over antatte avstander og tilhørende sannsynlighet for smitte	56
Tabell 7: Estimerte verdier for situasjoner uten og med hensyn på negative eksternaliteter ...	57

Nomenklatur

x	Laksebestand
r	Vekstrate
K_0	Bærekapasitet
φ	Sensitivitetskoeffisient
S	Produksjonsmengde
h	Fangstrate
q	Fangstfaktor
E	Fiskeinnsats
\bar{x}	Mengde fisk ved stable forhold
p_f	Laksepris per kilo
π_f	Profitt fiskeri
c	Produksjonskostnad per kilo
L	Infiserte parasitter blant vertspopulasjonen
t	Tid
P	Fullvokste parasitter blant vertspopulasjonen
p	raten parasitter som dør grunnet mangel av verter til å livnære seg på
H	Populasjonstetthet
β	Rate parasitter som blir spist av vert
$\lambda(m)$	Parasittegg som blir larver
m	Motstandsdyktighet mot parasitter hos vert
$\mu(m)$	Dødelighetsrate ved parasittinfeksjon
σ	rate hvor m vil synke ved fravær av «utfordringer» å overvinne
$Q(m)$	Rate for endring av antall parasitter i vertspopulasjonen
N	Andel populasjon utsatt for smitte
α	Overføringskoeffisient

S_u	Fisk utsatt for sykdomssmitte
I	Infisert fisk
R	Fjernet fisk på grunn av sykdom
N_T	Grenseverdi for sykdomsutbrudd
a	Dødelighetsrate for infisert fisk
b	Naturlig dødelighetsrate blant populasjonen
v	Fjerningsrate blant populasjonen
R_0	Reproduksjonsrate blant syk fisk
S_T	Mengde sykdom- og luseinfisert fisk
S_L	Mengde luseinfisert fisk
S_S	Mengde sykdomsinfisert fisk
π	Profitt oppdrettsanlegg
z_L	Sannsynlighet for smitte fra lus
z_S	Sannsynlighet for smitte fra sykdom
V_t	Slaktevekt
V_0	Smoltvekt
DGR	Døgngrader
π_B	Profitt basistilstand
π_{PT}	Profitt perfekt tilstand
c_g	Grensekostnad

Innholdsfortegnelse

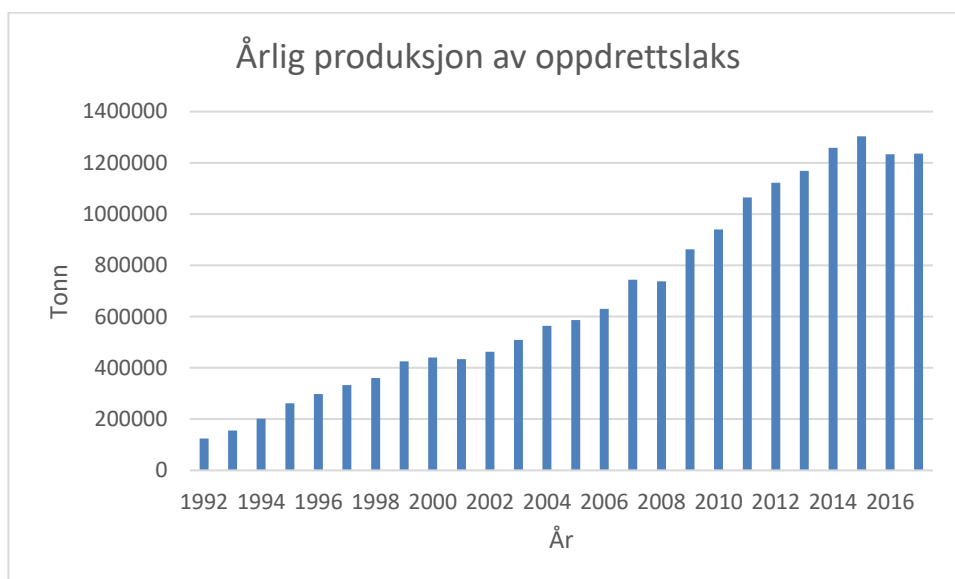
Forord	i
Sammendrag	ii
Figurliste.....	iii
Tabelliste	v
Nomenklatur	vi
Innholdsfortegnelse	viii
1. Innledning.....	1
1.1. Bakgrunn for oppgaven	1
1.2. Formål og problemstilling	3
2. Akvakultur i Norge.....	4
2.1. Oversikt over lakseindustrien og hvordan den opererer	4
2.2. Laksens livssyklus i oppdrett.....	5
2.3. Reguleringer	6
2.4. Merder og oppdrettsanlegg	12
3. Eksternaliteter.....	14
3.1. Hvordan måle eksternaliteter	15
3.2. Eksternaliteter ved lakseoppdrett.....	16
3.3. Lakselus	24
3.4. Metoder for bekjempelse av smitte	27
3.5. Fremtidige metoder for bekjempelse av negative eksternaliteter	31
4. Teori	36
4.1. Modell K.....	36
4.2. Parasittmodell	37
4.3. Sykdomsmodell	39
4.4. Soneinndeling	42
5. Konseptmodell	47

5.1.	Estimering av variabler.....	49
6.	Resultater.....	57
6.1.	Basistilstand.....	58
6.2.	Perfekte tilstander	58
6.3.	Endring i lusevekst, Q	61
6.4.	Endring i antall parasittsmittede fisk, S_L	62
6.5.	Endring i reproduksjonsrate, R	63
6.6.	Endring i antall sykdomssmittede individer, S_S	65
7.	Diskusjon.....	66
7.1.	Scenario med ny teknologi	66
7.2.	Scenario med endringer i reguleringer	68
7.3.	Innbetalingsmodell for å dekke tapt profitt	69
7.4.	Diskusjon av variabler	70
8.	Konklusjon	73
9.	Videre arbeid	74
	Kildeliste	75
	Appendix	79
	Appendix A1 – Lusedata	79
	Appendix A2 – Utregnet parasittverdier (Q) fra Appendix A1	82
	Appendix A3 – Data for resultater, lus	86
	Appendix A4 – Data for resultater, sykdom	89

1. Innledning

1.1. Bakgrunn for oppgaven

Norsk lakseoppdrett har de siste tiårene opplevd stor økonomisk vekst, skapt arbeidsplasser og drevet innovasjon på et stadig høyere nivå. Laksen er blitt en svært viktig ressurs for Norge. 95% av all produsert laks blir eksportert, til over 140 land, noe som utgjør 30% av all global matfiskproduksjon til havs (Sjømatråd, 2019). I 2017 var inntjeningen i oppdrettsnæringen på hele 61,6 milliarder NOK (SSB, 2018a). Fremtidige utsikter viser at etterspørselen for laks vil fortsette å øke, noe som tilsier at eksport av laks vil bli enda viktigere for Norge i fremtiden (NRK, 2019).



Figur 1: Mengde oppdrettslaks produsert fra 1992-2017 (SSB, 2018b)

Til tross for potensielt økt eksport har oppdrettsindustrien opplevd redusert vekst de siste 5 årene, som illustrert i Figur 1. Dette er på grunn av en rekke problemer som; lakselus, rømt laks, lokale utslipp og manglende produksjonsareal (Tekna, 2018). Regjeringen har også innført strengere reguleringer, blant annet trafikklyssystemet, som skal hjelpe til med å justere vekst i produksjonskapasitet basert på miljøtilstanden i et produksjonsområde. Meningen er at dette skal hjelpe med å skape en kontrollert vekst, næringen selv håper på en fordobling av eksporten innen 2040. Dette vil kunne bidra med store inntekter til staten og skape flere tusen arbeidsplasser i en tid som er preget av fokus på grønnere industri (SjømatNorge, 2019).

Også rapporten «Verdiskapning basert på produktive hav i 2050» trekker fram hva Norge skal leve av i fremtiden, annet en olje og gassnæringen (Olafsen, Winther, Olsen, & Skjermo, 2012). Den marine sektoren generelt har fått større betydning for norsk økonomi de siste årene. En av de viktigste faktorene for vekst i fremtiden er det økte behovet og etterspørselen etter mat grunnet global befolkningsvekst. Norge er i en særskilt posisjon med tilgang på store naturressurser i havet og besitter både kunnskapen og industrien som skal til for å imøtekomme dette behovet.

Det er i tillegg lagt frem fokusområder som må legges vekt på for å kunne drive industrien fremover. Blant disse fokusområdene finner vi satsing på hav- og kystforvaltning med fokus på utvikling og verdiskapning, stabile rammebetingelser, etablere en teknologistrategi og satse på utvikling av målrettet utdanning som tiltrekker seg talenter og øker kompetansen i industrien (Olafsen et al., 2012). Samtidig er det også nevnt fire risikoer for fremtidig utvikling:

1. Klimaendringer som tar en mer dramatisk vending enn tidligere antatt
2. Global økonomisk resesjon som får langvarige virkninger
3. Økte handelsbarrierer som følge av global økonomisk resesjon
4. Reduksjon av kvalitet på havmiljøet, for eksempel i form av forurensing

Alle disse faktorene vil gi ugunstige konsekvenser for oppdrettsnæringen om de inntreffer. Dette betyr at innovasjon, optimalisering og redusering av risiko vil være sentrale strategielementer for å redusere sannsynlighet og konsekvenser.

Risikovurdering og metodikk for risikoanalyse av laksehelse og miljøpåvirkning har i det siste ti-året fått større fokus. Regjeringen utga i 2009 «Strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring», som tok for seg de mest sentrale utfordringene og målsetningene for havbruksnæringen (Regjeringen, 2009). Rapporten belyste fem hovedmål innen sykdom, genetisk interaksjon og rømming, forurensing og utslipp, arealbruk, og fôr og fôrressurser.

For å nå målene kreves det at oppdrettsnæringen håndterer de tilknyttede risikofaktorene på en god og bærekraftig måte. Siden 2011 har havforskningsinstituttet utgitt en årlig risikorapport i samarbeid med Mattilsynet, Fiskedirektoratet og Miljødirektoratet som gir en kontinuerlig status på risikobildet i industrien (Grefsrud et al., 2018). Ved å kunne identifisere og varsle på et tidlig tidspunkt kan oppdrettere lettere og raskere gjennomføre tiltak for å redusere effekten av de negative eksternalitetene.

Negative risikofaktorer som lakselus, sykdom, redusert miljøtilstand og lakserømming har lenge vært kjent i havbruksnæringen, men det finnes ingen metode for å kunne beregne eksternalitetene disse skaper mellom oppdrettsanlegg. Det er lett å beregne direkte tap av profitt hvis lakselus eller sykdom skulle slå rot i produksjonen. Det er hensiktsmessig med mottiltak allerede før disse negative eksternalitetene slår inn.

1.2. Formål og problemstilling

Hovedformålet med denne oppgaven er å belyse og analysere negative eksternaliteter innen oppdrettsnæringen. I litteraturen er det skrevet mye om ulike risikofaktorer og utfallet av disse, men det er manglende informasjon om hvordan oppdrettsanlegg kan påvirke hverandre og hvilke konsekvenser det kan ha.

De negative eksternalitetene som vi velger å fokusere på er spredning av lakselus og sykdom, basert på avstanden mellom oppdrettsanlegg. I tillegg, hvilke implikasjoner dette kan gi for potensiell reduksjon av produksjonsvolum og dermed nedgang i profitten for næringen. For å kunne tallfeste og modellere effekten av eksternalitetene utvikles det en bioøkonomisk modell.

Oppgaven vil gå gjennom bakgrunnsinformasjon om hvordan oppdrettsnæringen opererer i dag, teori om eksternaliteter og hva som utgjør en trussel for oppdrett. Deretter, teori og utvikling av den bioøkonomiske modellen og estimering av variabler. Til slutt en diskusjonsdel med ulike scenarioer hvor teknologiske nyvinninger, rammebetingelser, endringer av reguleringer kan være med å påvirke endringer i utbrudd av lakselus og sykdom.

2. Akvakultur i Norge

Akvakultur, eller havbruk, kan bli definert som menneskelig dyrking av organismer i vann. Det er en eksportrettet næring som er teknologisk omfattende og i kontinuerlig forandring som funksjon av biologisk produksjon, reguleringer og etterspørsel. Næringen skiller seg ut fra vanlige fiskerier ved at flere faktorer kan kontrolleres, og produksjonen kan holdes jevn slik at det alltid vil være fersk fisk tilgjengelig.

Det er vanlig å dele produksjonen innen akvakultur inn i tre typer; intens, semi-intens og ekstensiv. I Norge er den vanligste metoden intens produksjon, altså industrialisert oppdrett. Oppdrett foregår da i lukkede områder og oppdretteren kan kontrollere faktorer som størrelse, fisketetthet og fôring. Ekstensiv produksjon involverer når fisk settes ut for å ernære seg av den naturlige næringen som økosystemet har å tilby (Asche & Bjørndal, 2011; Hallenstvedt, 2014).

I Norge ble den første laksesmolten (ung laks) satt ut i merder allerede i 1969, noen år etter at man hadde funnet ut at regnbueørret kunne tilvennes til et liv i saltvann. Siden 1980-tallet har næringen opplevd en jevn vekst, bortsett fra noen få år med opphold grunnet problemer med sykdom og manglende profitt. Norge har svært gode forutsetninger for oppdrett takket være de gode temperatur- og kystforholdene. Sammen med god infrastruktur har dette gjort at vi nå er verdens største produsent av atlantisk oppdrettslaks (Hallenstvedt, 2015; Steinset, 2017).

Videre i oppgaven vil vi forklare hvordan tillatelser blir tildelt oppdrettere, hvordan laksen går fra rogn til slakteklar matfisk, og hvilke regelverk som omfatter industrien.

2.1. Oversikt over lakseindustrien og hvordan den opererer

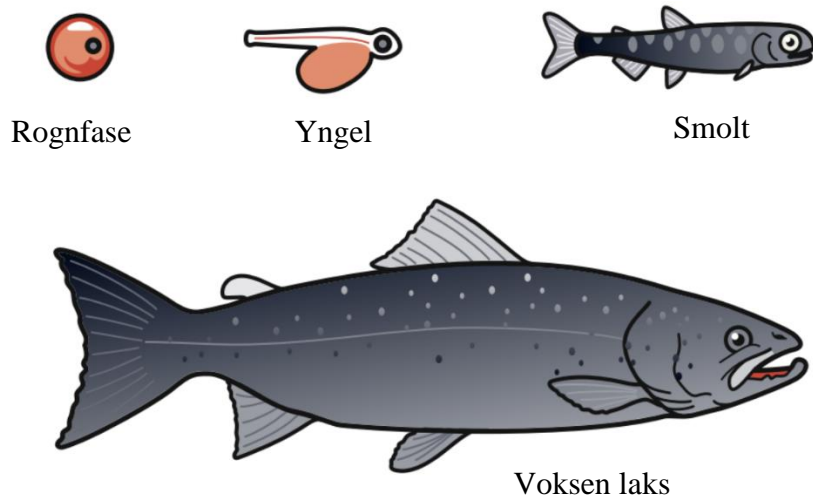
Akvakulturen i Norge opererer i dag ved at en oppdretter får tildelt en særskilt tillatelse til å kunne drive oppdrett på allmennhetens areal. Kriteriene for tildelingen er at myndighetene setter føringene for driften av anlegget for å forsikre seg om at oppdrettere bidrar til verdiskapning for samfunnet både nasjonalt og lokalt (Fiskeridirektoratet, 2017). Tildelingen av tillatelser er antallsbegrenset, som betyr at det er departementet som selv styrer når tildelingene skal skje. Det er viktig at tildelingen skjer i henhold til Akvakulturloven (Regjeringen, 2005).

Fordelen ved å ha en slik tildelingsprosess er at naturressursene unngår å bli overbeskattet. Hvis disse kriteriene ikke var på plass, ville fellesressursene ødelegges og et tilfelle av allmenningens tragedie (Tragedy of the commons) ville oppstått. Overfiske og overproduksjon av lakseoppdrett vil føre til store negative eksternaliteter som kan være irreversible. Alle oppdrettsanlegg er pliktige til å innrapportere biomasse stående, som ikke skal overstige maksimal tillat biomasse (MTB), månedlig siden 2005. Før MTB reguleringer kom på plass, var det fôrkvoter som lå til grunn for produksjonsbegrensning. MTB og andre reguleringer vil bli diskutert nærmere i kapittel 2.3. Reguleringene skal sørge for sikker drift av anleggene, akseptabel fiskevelferd i merdene og at produksjonssyklusen fra rogn til matfisk etterleveres i henhold til reguleringene.

2.2. Laksens livssyklus i oppdrett

Laksens livssyklus er gjerne kategorisert inn i seks stadier; stryking, rognfase, klekking, startfasen, vekstfase og matfiskproduksjon i sjø (Seafood, 2019). I oppdrett vil man ha stamfisk som brukes til å produsere egg. En hunnlaks produserer om lag 500 egg som først blir fjernet og så befruktes og legges i mørke i spesielle beholdere. Det er dette som er rognfasen.

Fra Figur 2 er det mulig å observere en illustrasjon av laksens livsløp og de ulike fasene rogn, yngel, smolt og utvokst laks. Etter omtrent 500 døgngader (gjennomsnittstemperatur x antall døgn) klekkes eggene og lakseyngelen lever kun av plommesekken. Etter ytterligere 300 døgngader begynner yngelen å ta til seg annen føde. På dette stadiet er den rundt to til fire cm lang. Dette er en ømfintlig prosess, som tidligere var preget av høy dødelighet. Stor innsats på dette området har ført til forbedringer, og overlevelsesraten i norske klekkerier er nå over 70 %, som står i sterk kontrast til naturen hvor den er under 0,5 % (Asche & Bjørndal, 2011).



Figur 2: Illustrasjon av laksens livsløp (Kalager & Hellen, 2018)

I vekstfasen vokser laksen videre til omtrent 100 g smolt. Smoltifisering er prosessen hvor laksen tilvenner seg å gå fra ferskvann til saltvann. Dette skjer vanligvis 16 måneder etter at eggene har klekket. Villaks vil kun veie 40 g i dette stadiet, men smolten som brukes i oppdrett vokser raskere og kan derfor plasseres i merder allerede etter åtte måneder. Det er viktig at smolten plasseres i havet i den varme halvparten av året. For å få best utnyttelse blir derfor den første smolten plassert ut i mai og den andre i september/oktober. I naturen ville vekstfasen for en laks tatt to til fem år. Ved industriell produksjon vil atlantehavslaksen kun være i havet i 12-18 måneder. Den vil da veie mellom to til åtte kg, avhengig av hvor lenge den har vært i merden (Asche & Bjørndal, 2011). Gjennom innovasjon og implementering av ny teknologi som moderne RAS-anlegg forkortes tiden i sjø, noe som skal kunne gi mer motstandsdyktig fisk, lavere kostnader relatert til sjøproduksjon, samt høyere slaktevekt (Kalager & Hellen, 2018).

2.3. Reguleringer

Det er essensielt å ha på plass gode reguleringer for å kunne ivareta miljøet og fiskehelse. Alle land som driver med oppdrett i dag har slike reguleringer, men disse kan variere fra land til land. I Norge tilhører oppdrettsnæringen under Fiskeridepartementet med Fiskeridirektoratet som faglig og utøvende etat. De første reguleringene i Norge ble innført i 1973, hvorav det ble bestemt at alle som ønsket å starte virksomhet innen oppdrett hadde plikt om å søke til staten om tillatelse. Fram til 1977 fikk alle søkende tillatelse til å starte oppdrett, med håp om at det skulle øke næringen i kystbyene. Gjeldende oppdrettslov av fisk og skalldyr ble opprettet 14.

juni 1985 (oppdrettsloven) og ble sist endret i 2003 (Hallenstvedt, 2015). Norsk oppdrettsvirksomhet reguleres først og fremst av Akvakulturloven. I tillegg til loven, har næringen hatt i alt fire fullmaktslover sammen med en mengde forskrifter og rammevilkår siden 1973.

I henhold til lisens utdeling er det i dag er det basert på fire hovedkriterier; inngang, lokasjon, anleggsstørrelse og eierskap. Hovedtanken ved å innskrenke tillatelsene er for å kunne sikre en balansert vekst av næringen. Lisensutdelingen er også ment til å styre industristrukturen, da myndighetene ønsket seg en eier-operatørstruktur. Tidligere var det ikke lov for en person å ha hovedeierskap til mer enn ett oppdrettsanlegg, men dette ble skrinlagt i 1992. Dette for å forsikre at mindre firmaer kunne innhente nok kapital for å holde seg kompetitive i en industri som stadig ble mer kompleks. Nå lovfester reguleringene at et firma ikke kan eie mer enn 10 % av alle lisensene med mindre de har fått spesiell tillatelse, og kan aldri eie mer enn 20 % av alle lisensene.

2.3.1. Maksimalt tillat biomasse (MTB)

Før var det størrelsen (volumet) på merden som avgjorde hvor mye fisk som kan være i merden til et hvert tidspunkt. I dag er det maksimal total biomasse som begrenser produksjonen i et anlegg. MTB er 780 tonn for en standard tillatelse for matfisk, men for Troms og Finnmark er MTB på 945 tonn (Fiskedirektoratet, 2016). Akvakulturloven § 47 tilsier at «biomassen per akvakulturtillatelse skal ikke overstige den maksimalt tillatte biomassen som følger av tillatelsen» og i § 47a «antall fisk per produksjonsenhet i sjø skal ikke overstige 200 000» (Lovdata). Hver lisens har en medfølgende MTB, men det er mulig å slå sammen lisenser for å øke tillat produksjon.

2.3.2. Akvakulturloven

Akvakulturloven gir forpliktelser til oppdrettsnæringen som beskriver ansvaret for sikkerhet, korrekt oppbevaring og håndtering av fisk samt tiltak for å motvirke sykdom i næringen i Norge. Regelverk innen akvakulturnæringen modifiseres kontinuerlig som følge av stadig nye utviklinger innen næringen helt siden 1973 som ny teknologi og økende etterspørsel (Bellona, 2006; Hallenstvedt, 2015; Laksefakta, 2018). Essensielle paragrafer i akvakulturloven skal

sørge for å forhindre og behandle sykdom blant fiskebestand i oppdrettsnæring. Det vil bli rettet spesielt fokus på noen av paragrafene videre i dette delkapittelet.

Akvakulturforskrift § 26 for utsett av fisk beskriver blant annet kravene for et godt levested for fisk. Det konstaterer blant annet at «leverandør og mottaker av fisk skal sørge for at fisk som settes ut i et akvakulturanlegg er av en slik størrelse og i en slik kondisjon at utsetting ikke fører til unødige påkjenninger og belastninger».

Akvakulturforskrift § 28 for håndtering og stell påpeker kravene for hvordan fisk skal håndteres herunder håving, vaksinerings, trenging og pumping, og stelles for å fremme velferd og unngå sykdom, skader og unødig påkjenning av fiskebestanden.

For å hindre smitte av sykdom fra en merd til nærliggende merder er det viktig å forhindre rømming av fisk. I følge forskriftens § 37 i akvakulturforskriften er det pliktig å forebygge og begrense rømming av fisk hvorav det skal gjennomføres risikovurdering med målsetning om å minimalisere risikoen for rømming. I tillegg skal det være tilstrekkelig beredskap på plass for å kunne oppdage eventuelle rømminger så fort som mulig og minimere rømmingen av fisk.

Forskriftens § 50a involverer helsekontroll med fisk i akvakulturanlegg for matfisk. Forskriften konstaterer forholdet mellom årlige helsekontroller og kvantiteten av matfisk i et akvakulturanlegg.

Tabell 1: Oversikt over antall helsekontroller per år basert på antall matfisk i akvakulturanlegget

<i>Antall matfisk i et akvakulturanlegg</i>	Antall helsekontroller per år
<i>3000 < matfisk < 50 000</i>	minst 4
<i>50 000 < matfisk < 1 000 000</i>	minst 6
<i>1 000 000 < matfisk <</i>	minst 12
<i>Ingen hele året</i>	Krav til antall helsekontroller reduseres tilsvarende
<i>> 30 matfisk av laks, røye, ørret eller regnbueørret i ferskvann</i>	Skal undersøkes for <i>Gyrodactylus salaris</i> per år

Forskriftens § 54 for slaktemerd er aktuell da det omhandler reguleringer i tilfeller hvor sykdom er observert. En slaktemerd er en merd for oppbevaring av fisk i sjø før slakting.

Paragrafen tilsier maksimal oppbevaring av fisk i en slaktemerd er satt til 6 døgn. Skadet og/eller syk fisk skal avlives så raskt som mulig uten å stresse fisken, skape frykt eller påføre unngåelig lidelse. Det konstateres også følgende punkter:

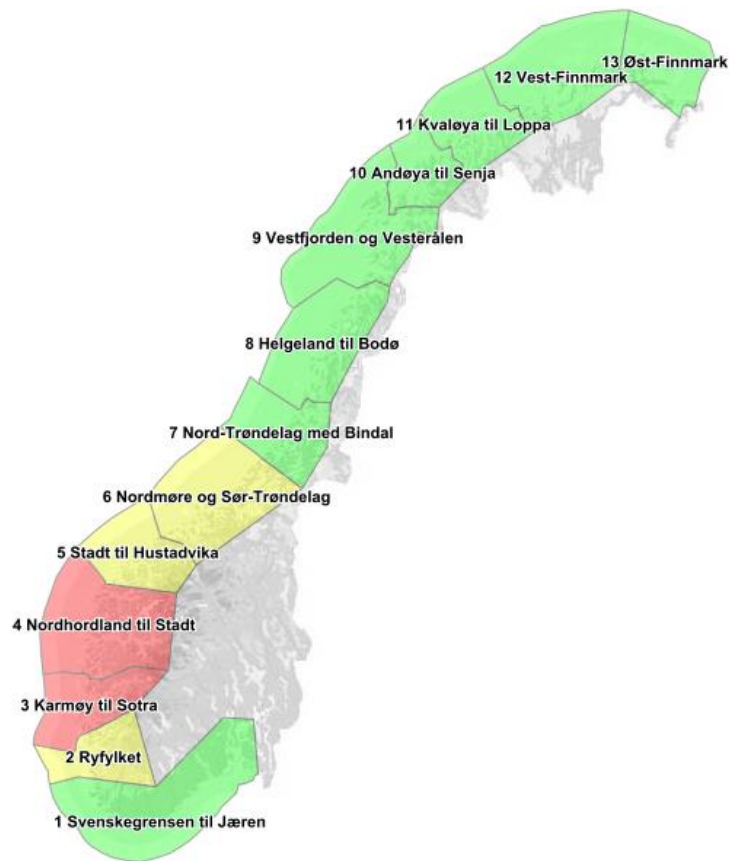
- Miljøforholdene skal ikke være belastende (feil temperatur, pH etc.)
- Fisk fra forskjellige akvakulturanlegg skal ikke samles i samme slaktemerd
- En full slaktemerd må tømmes før ny fisk fra samme eller annet anlegg skal inn
- Det kan ikke være fisk fra mer enn tre ulike akvakulturanlegg samtidig i slakteriets slaktemerder

Disse forskriftene er lagt til grunn for å sikre konkurransekraft og lønnsom drift innenfor bærekraftig utvikling samt bidra til verdiskapning (Bellona, 2006). Mange av forskriftene i akvakulturloven dekker økologiske effekter. Hvordan paragrafene etterleves blir overvåkt gjennom trafikklyssystemet

2.3.3. Trafikklyssystemet

I slutten av 2017 ble trafikklyssystemet implementert for de 13 produksjonsområdene langs norskekysten. Hensikten med dette systemet er å kontrollere oppdrett av laks, ørret og regnbueørret basert på miljøtilstanden i hvert enkelt produksjonsområde. Et område vil havne i en av tre kategorier, og gi grunnlag for følgende kapasitetsjusteringer ("Regjeringen skrur på trafikklyset," 2017):

- Grønn: Kapasiteten økes med 6 % annethvert år
- Gul: Kapasiteten fryses annethvert år
- Rød: Kapasiteten reduseres med 6 % annethvert år



Figur 3: Oversikt over de 13 produksjonsområder (Fiskeridirektoratet, 2019a)

Figur 3 illustrerer hvordan de ulike produksjonsområdene ble kategorisert i første runde. To områder er kategorisert som rød, tre produksjonsområder ble satt til gul og de resterende åtte produksjonsområdene ble satt til grønn. Regjeringen mener at denne beslutningen kan utgjøre en potensiell vekst i industrien som tilsvarer 3 % av biomassen som er tillatt i dag, som utgjør 24 000 tonn ("Regjeringen skruer på trafikklyset," 2017).

Trafikklyssystemet tar først og fremst hensyn til risikoen for dødelighet på grunn av lakselus påført villaksen. Det eksisterer noe usikkerhet til vurderingene av risiko grunnet variasjon i smittepress og lite kunnskap om utvandringsruter. Videre skal Nærings- og fiskeridepartementet utarbeide et utkast til hvordan kapasitetsjusteringene i grønne områder skal gjennomføres i praksis. For områdene i rødt vil nedjusteringen skje i løpet av 2019 (Regjeringen, 2018a).

Næringen på den andre siden mener at trafikklyssystemet kan føre til tap (Thomsen, 2019). De mener at luseproblemet ikke er nytt, dermed vil rød klassifisering bare føre til produksjonstap og nye avlusningsmetoder kan møte problematikken på en bedre måte enn å skru ned biomassetaket. Samtidig er det ikke ny informasjon om at produksjon av laks og

mengde lakselus er positivt korrelert, som nettopp er grunnlaget for at ekspertgruppen utviklet trafikklyssystemet med hensyn på biomassen. Allikevel, grunnet stor usikkerhet til fargesettingen, må styringsgruppen ha god grunn for å redusere den totale biomassen.

2.3.4. Forskrift om bekjempelse av lakselus

I «Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg» er det beskrevet hvordan bekjempelsene skal foregå og formålet med forskriften lyder som følgende:

«Formålet med forskriften er å redusere forekomsten av lakselus slik at skadevirkningene på fisk i akvakulturanlegg og i villevende bestander av laksefisk minimaliseres, samt redusere og bekjempe resistensutvikling hos lakselus» (Lovdata, 2012).

Forskriften setter grenser for tillatte mengder med hunnlus, hvordan telling av lus skal foregå samt hyppigheten av telling. I 2017 kom det en endring i paragraf 8 i «Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg» (Lovdata, 2017). Denne endringen kom med grenseverdier og tidsperioder for lakselus for de forskjellige områdene, som herunder er:

- I Nord-Trøndelag og sørover skal det fra uke 16 til uke 21 være mindre enn 0,2 voksne hunnlus i gjennomsnitt per fisk i oppdrettsanlegget. Resten av året (uke 22-15) skal det være færre enn 0,5 voksne hunnlus i gjennomsnitt per fisk i oppdrettsanlegget.
- For Nordland, Troms og Finnmark er grensene plassert for andre uker. Det skal fra uke 21 til uke 26 være mindre enn 0,2 voksne hunnlus i gjennomsnitt per fisk i oppdrettsanlegget. Resten av året (uke 27-20) skal det være færre enn 0,5 voksne hunnlus i gjennomsnitt per fisk i oppdrettsanlegget.

Videre sier forskriftens § 8 at Mattilsynet har tillatelse til å heve grenseverdien for lakselus i stamfisk siste halvåret hvor fisken er i vannet.

Når det gjelder behandling av lakselus tilsier forskriften at behandlingen skal gjennomføres med legemiddel som forventes har en god effekt og skal gjennomføres i alle merdene i oppdrettsanlegget. I kapittel 3.3 og Figur 10 er det illustrert hvordan utviklingen blant lus i Norge har vært de siste to årene.

2.3.5. Forskrift om omsetning av akvakulturdyr

I tillegg til forskriftene fra Akvakulturloven som beskrevet i kapittel 2.3.2 skal «Forskrift om omsetning av akvakulturdyr og produkter av akvakultur, forebygging og bekjempelse av smittsime sykdommer hos akvatiske dyr» også fremme god helse hos akvatiske dyr. Forskriften forklarer hvordan vilkårene skal være for dyrehelse ved import, omsetning og transitt (Lovdata, 2008). Når det kommer til behandling og forebygging av sykdom gjelder ikke det lakselus som er håndtert i forskriften som forklart over. Alle vaksiner som er brukt i industrien skal være godkjent av Statens legemiddelverk og Mattilsynet styrer bruken av vaksinene (Mattilsynet, 2012).

2.3.6. Kommunale insentiver for etablering av oppdrettsanlegg

I september 2018 opprettet Regjeringen et utvalg for å undersøke muligheten for beskatning av havbruksnæringen. Ifølge Finansminister Siv Jensen skal utvalget se nærmere på utformingen av beskatningen av havbruksnæringen og hvordan den ekstraordinære avkastningen som kan forekomme i næringen kan bli brukt til felleskapet til gode.

Bakgrunnen for dette mandatet var at det i 2016 ble vedtatt at 80 % av vekst i havbruksnæringen skulle tilfalle det offentlige som kommuner og fylkeskommuner. Av dette skal 87,5 % gå til kommunene og 12,5 % til fylkeskommunene. I tillegg skal oppdrettstillatelser og nytt system for kapasitetsjusteringer baseres på næringens miljøpåvirkning og evne til å bekjempe påvirkninger av lakselus gjennom «trafikklyssystemet». Basert på næringens miljøpåvirkning vil kommunene avgjøre om lokaliteten klassifiseres som grønn, gul eller rød. Dermed kan kommunene øke, fryse eller skjære ned på kapasiteten til næringen i den klassifiserte lokasjonen. Videre skal utvalget diskutere hvordan skattesystemet for havbruk skal utformes, hvor det blant annet skal legges vekt på ekstrabeskatning når det gjelder grunnrenteskatt og produksjonsavgift (Regjeringen, 2018b). Uttaket skal komme med sin innstilling for vurdering av beskatning av havbruk innen 1. november 2019 (Regjeringen, 2018a).

2.4. Merder og oppdrettsanlegg

De første merdene ble bygd tidlig på 1970-tallet av håndlagde og svært enkle løsninger sammenlignet med dagens konstruksjoner. Oppdrett skjedde i lokaliteter som var mest mulig

lune og skjermede for vær og vind. Utviklingen siden den gang har vært stor, og merdene som blir produsert nå er både større og mer robuste. Dette har ført til at merdene nå blir plassert lenger ut i fjordene og de kan romme større mengde fisk. Samtidig har antall merder per anlegg økt. Tidlige oppdrettsanlegg bestod kun av en merd, men dagens anlegg kan nå ha opptil 14 stykker som er koblet til en flåte med både kontor, kontrollrom og lager (Asche & Bjørndal, 2011). Eksempel på et slikt oppdrettsanlegg med tilhørende kontor og kontrollrom er vist i Figur 4.



Figur 4: Oppdrettsanlegg i Hardangerfjorden (Haraldsen)

I dag er det merder av typen flytemerd som er mest brukt ved oppdrettsanlegg i Norge. De er bygd opp av tre hoveddeler: notpose, hoppegjerde og flyteenhet. Oppdrettere er ikke rapporteringspliktige til om de har sirkelmerder eller firkantmerder, men basert på kjente størrelser og volum kan en anslå at flesteparten er sirkelmerder (Fiskeridirektoratet, 2010; Hallenstvedt, 2015).

Nye merdtyper vil være med på å kunne bekjempe problemene som oppdrettsnæringen opplever i dag, spesielt med tanke på lus. Myndighetene har derfor bedt oppdrettere om å komme med nye innovative løsninger, og vil gi spesielle utviklingstillatelser til de som klarer det. Så langt er det elleve prosjekter som har fått slike tillatelser. Blant disse prosjektene finner man havmerder, undervannsmerder, lukkede og semilukkede merder (Fiskeridirektoratet, 2019b; Oslen, 2018). Noen av disse innovative løsningene og ny teknologi vil bli diskutert nærmere i kapittel 4.3.

3. Eksternaliteter

For å kunne besvare på oppgavens hovedformål er det viktig å først definere hva en eksternalitet er. Eksternaliteter er en eller flere kostnader knyttet til en aktørs virksomhet, som aktøren selv ikke pådrar seg. Den blir i stedet videreført til en eller flere andre aktører. Kostnaden blir derfor ikke med i beregningene til den ansvarlige aktøren. Det kan derfor også kalles eksterne virkninger. Eksternaliteter kan være både negative og positive, og det finner fire forskjellige typer:

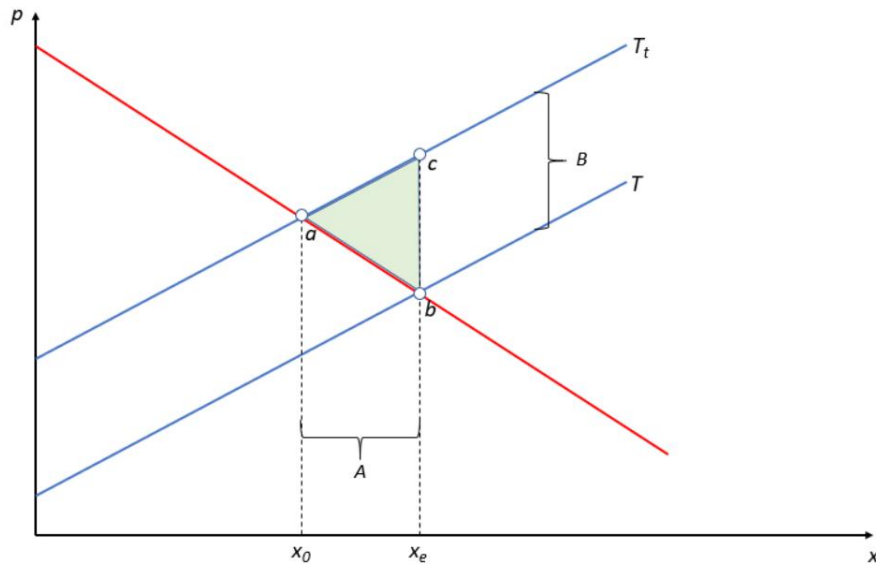
- Konsum-konsum-virkninger
- Konsum-produksjon-virkninger
- Produksjon-konsum-virkninger
- Produksjon-produksjon-virkninger

Den førstnevnte er virkninger som en forbrukers virksomhet påfører andre forbrukere. Et eksempel på det hvis en beboer i et boligfelt setter på høy musikk som kan være et irritasjonsmoment for andre. Konsum-produksjon-virkninger er når forbrukere har virkninger på en produsent sin virksomhet. Eksempelvis når store kjøretøy som campingbiler eller busser kjører på svært smale veier som kan skape trafikkork og forsinkelser for yrkessjåfører Den tredje er produsenter har virkninger på forbrukeren. Dette kan skje ved f.eks. når utrykningskjøretøy med sirener kjører om natten gjennom en by. Den siste virkningen er når produsenters virksomhet har på andre produsenters sin virksomhet. Et eksempel på dette er når en restaurant bedriver med oppussing som påvirker naborestaurants i form av støy for gjester (Idsø, 2017).

Eksternaliteter reduserer effektiviteten i et marked, som videre fører til et samfunnsøkonomisk tap. Positive eksternaliteter fører til at markedet produserer for lite i forhold til sosialt optimum, og negative fører til at det blir produsert for mye. Dette kan bekjempes ved at aktører internaliserer eksternalitetene (Sandsør, 2010).

Figur 5 viser hvordan negative eksternaliteter påvirker fordelingen av ressurser. Marginalkostnadene til en produsent vil være lavere når de skyver kostnadene knyttet til eksternaliteter over på noen andre. Det gjør at tilbudskurven (T) ikke klarer å fange opp alle kostnadene, og vil legge seg under tilbudskurven til de virkelige kostnadene knyttet til produksjonen (T_i). De negative eksternalitetene er da illustrert med B . Det er mulig å observere at produksjonen, b , er høyere enn den ville vært hvis eksternalitetene var

internalisert, a . Forskjellen mellom x_0 , som representerer sosialt optimum, og x_e som representerer likevektproduksjonen, viser at ressurser blir overalloktert til produksjonen av varen/aktiviteten. Det gir et effektivitetstap for samfunnet for alle enheter mellom x_0 og x_e , representert av trekant abc (McConnell, Brue, Flynn, & Grant, 2013).



Figur 5: Negative eksternaliteter (McConnell et al., 2013)

Internaliseringen av eksternaliteten kan f.eks. skje gjennom avgifter eller pålegg som tilsvarer den negative eksternaliteten. Utfordringen er å kunne måle størrelsen på de eksterne virkningene.

3.1. Hvordan måle eksternaliteter

Måling av eksternaliteter kan gjøres med kvalitative og kvantitative metoder, eventuelt en blanding av disse. Som forklart over er det enkelt å måle eksternaliteter i teorien, men i praksis er det vanskeligere. Dette er fordi de reelle marginalkostnadene sjeldent blir observert, og det kan være problemer knyttet til estimeringer av disse. De to vanligste kvantitative målemetodene er «cost of damages» og «cost of control». For «cost of damages» vil man kunne tallfeste eksternalitetene f.eks. ved å se på kostnadene knyttet til opprydding etter et oljeutslipp. Med «cost of damages»-metoden vil en heller se på kostnadene knyttet til forhindring av eksternaliteter.

Den kvalitative metoden å måle eksternaliteter på vil ikke tallfeste kostnadene knyttet til eksternalitetene, men heller gjøre analyser som gir sier noe om alvorlighetsgraden knyttet til

utfallene (f.eks. lav, middels, høy). En blanding av disse metodene er «weighting and rating». Da lager man en matrise med mulige eksternaliteter, sammen med en rangering og vektning av disse. Det vil danne et godt oversiktsbilde over eksternalitetene og alvorlighetsgraden knyttet til dem (Blokhin, 2018).

3.2. Eksternaliteter ved lakseoppdrett

Lakseoppdrett kan føre med seg flere negative eksternaliteter både på naturen og på andre oppdrettere, og noen vil ha større påvirkning på aktører enn andre. Norske myndigheter har derfor satt seg fem hovedmål de ønsker fokus på, som vil bli dekt videre i kapittelet (Taranger, Boxaspen, Madhun, & Svåsand, 2011):

Tabell 2: Norske myndigheters hovedmål for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring (Taranger et al., 2011)

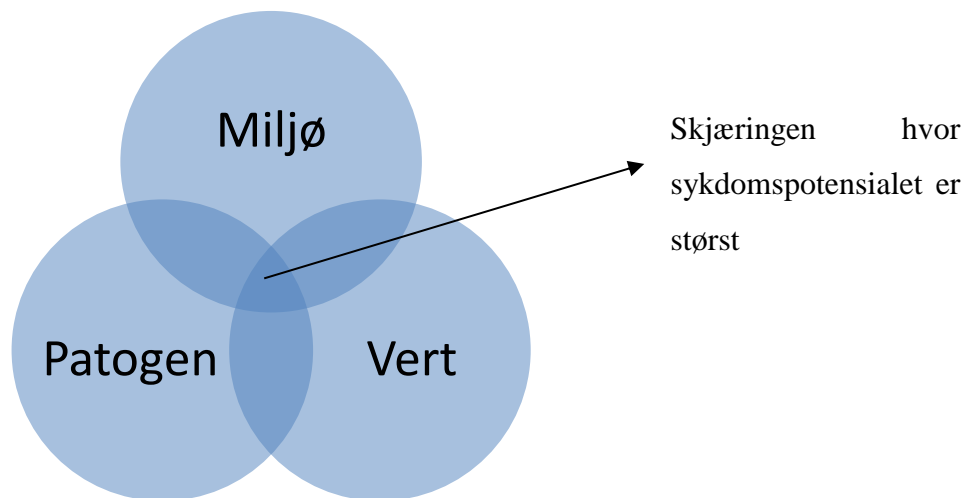
Mål	Beskrivelse
<i>Sykdom</i>	Sykdom i oppdrett har ikke bestandsregulerende effekt på villfisk, og mest mulig av oppdrettsfisken vokser opp til slakting med minimal medisinbruk
<i>Genetisk interaksjon og rømming</i>	Havbruk bidrar ikke til varige endringer i de genetiske egenskapene til villfiskbestandene
<i>Forurensing og utslipp</i>	Alle oppdrettslokaliteter som er i bruk holder seg innenfor en akseptabel miljøstand, og har ikke større utslipp av næringssalter og organisk materiale enn det resipienten tåler
<i>Arealbruk</i>	Havbruksnæringen har en lokalitetsstruktur og arealbruk som reduserer miljøpåvirkningen og smitterisiko
<i>Fôr og fôrressurser</i>	Havbruksnæringens behov for fôrråstoff og dekkes uten overbeskatning av de viltlevende marine ressursene

3.2.1. Sykdom

Sykdom blant oppdrettslaks er i Norge er et gjentakende problem, hvor den smittede verten ikke klarer å opprettholde en eller flere kroppsfunksjoner (Grefsrud et al., 2018). Det fører

med seg store økonomiske tap for næringen, og kan ha ytterligere ringvirkninger på miljøet. Betydelige mengder patogene organismer kan spres fra smittet fisk i oppdrettsanlegg til villfisk i nærheten, som vil føre til økt dødelighet blant bestanden.

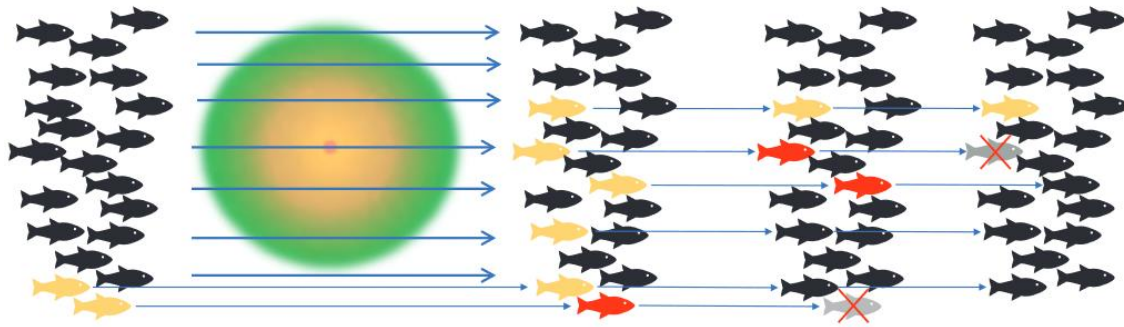
Ofte er interaksjonene mellom miljø, vert og patogen en kompleks prosess, som forklart av Figur 6, der skjæringen mellom disse faktorene er hvor potensialet for sykdom eksisterer (Grefsrud et al., 2018; Regjeringen, 2009).



Figur 6: Skjæringen mellom miljø, patogen og vert (Grefsrud et al., 2018)

Patogene organismer kan smitte andre fiskearter, men det er villaksen som er mest utsatt. Den oppholder seg også i lengre tidsperioder i områder hvor oppdrett er plassert, som i fjorder. En kan anta at de samme sykdommene utgjør en trussel for oppdrettsnæringen, også utgjør en trussel for villaksbestanden siden de er av samme art. Fiskens generelle helse og fysiske stadium vil også være med å påvirke utfallet av sykdom. Økt stress i avlusningsprosesser og transport er også med på å øke dødeligheten av smittet oppdrettslaks.

Alle patogener vil ha forskjellige gener som bidrar til ulike egenskaper. Det vil skape variasjon i organismenes evne til å smitte mange eller få verter, samt alvorlighetsgraden av sykdommen som inntreffer. Sannsynlighet for smitte avhenger av en rekke faktorer, som hvor mange patogener skilles til miljøet fra en allerede smittet vert, patogenenes evne til å overleve i det aktuelle miljøet og eksponering. Patogener kan smittes via vann, slim, kjønnsorganer, dødt biomateriale og avføring (Grefsrud et al., 2018).



Figur 7: Laks som eksponeres for patogener (Grefsrud et al., 2018)

Figur 7 illustrerer hvordan laks som eksponeres for patogener kan bli infisert (gul), som igjen kan utvikle en sykdom (rød), som til slutt kan dø (grå). Et fåtall kan bli friske igjen (svart). Som tidligere nevnt har miljøet stor betydning om laksen blir smittet, utvikler en sykdom og eventuelt dør (Combes, 2001; Wobeser, 2013). Fysiske og kjemiske forhold i miljøet vil påvirke eksponeringen ved å avgjøre hvor lenge de patogene organismene overlever og spredningsarealet. Faktorer som temperatur, strømning i vannet, saltinnhold, pH og UV-stråling vil være avgjørende (Grefsrud et al., 2018).

Selv om villaks og oppdrettslaks lever i samme miljø, vil det være ulike parametere som spiller inn i deres livssyklus. Oppdrettslaks har god tilgang på fôr, lever i høy tetthet og til en viss grad ustabile miljøbetingelser i den grad at de ikke her mulighet til å velge hvor de lever. Villaks derimot har mindre tilgang på fôr, lever i mye lavere tetthet og opplever større grad av predasjon. Høy tetthet og lav predasjon hos oppdrettslaks kan fungere veldig negativt i den forstand at det medfører høyere antall svake individer blant oppdrettslaks, som ikke ville overlevd i naturen. Disse individene kan lettere smittes, som igjen fører til økt smittepress i merden på grunn av den høye tettheten (Grefsrud et al., 2018).

Det er tre forskjellige kategorier av sykdom som kan ramme lakseoppdrett; bakteriesykdom, parasittsykdom og virussykdom. Bakteriesykdom kommer fra bakterier fra omgivelsene eller andre dyr. Det var et stort problem i oppstartstiden av oppdrettsnæringen som da ble løst med å bruke store mengder antibiotika. Å bruke antibiotika i stort omfang er ikke gunstig, da bakteriene kan bli resistente for antibiotikaene som brukes. I 1992 begynte man heller å bruke oljebaserte vaksiner. Dette løste problemet i stor grad, og bakteriesykdommer er ikke et stort problem i norsk lakseoppdrett i dag.

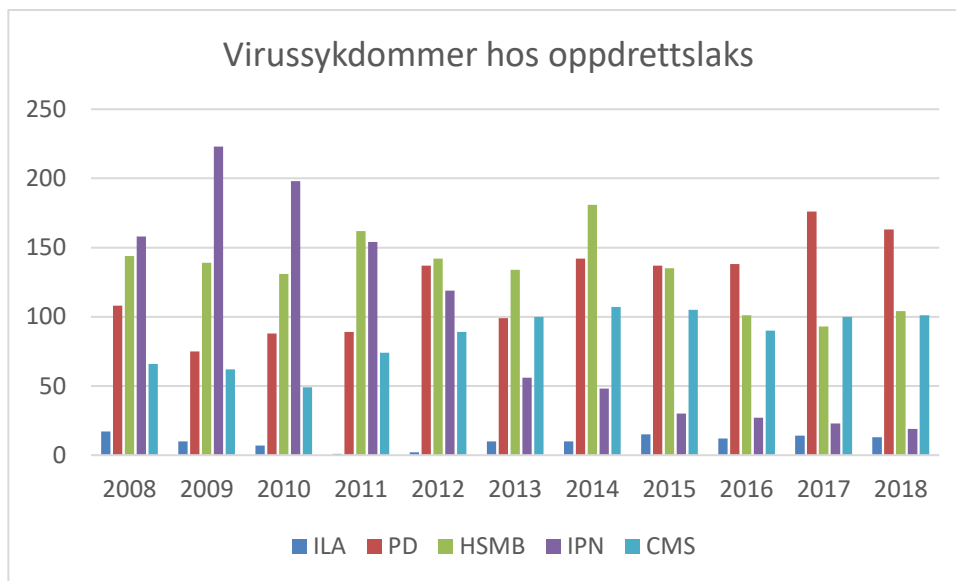
Det er lakselusen som utgjør de største problemene knyttet til parasittsykdommer. Andre parasitter som er påvist i norske oppdrettsanlegg er bendelmark, parvicapsula pseudobranchicola og ichthyobodo necato (Hjeltnes, Walde, Bang Jensen, & Haukaas, 2017).

Noen av virussykdommene som har utgjort den største kostnaden i norske oppdrettsanlegg de siste årene er: pankreassykdom, infeksiøs lakseanemi og kardiomyopatisyndrom. Simuleringer viste at pankreassykdom hadde en direkte kostnad mellom 2366-2775 millioner NOK på oppdrettere i 2015. Infeksiøs lakseanemi stod for 873-936 millioner NOK, og kardiomyopatisyndrom stod for 647-848 millioner NOK. Til sammen utgjorde dette 4/5 av de direkte kostnadene som er forbundet med lakselus (Vedeler, 2017).

3.2.1.1. Virussykdommer som utgjør en trussel for fiskevelferden

Fiskehelse rapporten for 2018 kom ut i februar 2019 og forteller om statusen på helsen blant villfisk og oppdrettsfisk i Norge. Rapporten legger frem at de fleste forskere mener at laksen har en evne til å føle frykt, smerte og ubehag. Dermed skal de ha et godt levested og oppleve håndtering som sikrer god fiskevelferd på bakgrunn av dyrevelferdsloven (Hjeltnes, Jensen, Bornø, Haukaas, & Walde, 2019).

De farligste virussykdommene for oppdrettslaks er tatt for seg i rapporten er: pankreassykdom (PD), infeksiøs lakseanemi (ILA), infeksiøs pankreasnekrose (IPN), hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og kardiomyopatisyndrom (hjertesprekk, CMS). Oversikt over status i 2018 og tidligere år er gitt i Figur 8. Fra oversikten ser man en klar nedgang i IPN det siste tiåret, samtidig som økningen i PD har vært størst.



Figur 8: Forekomster av virussykdommer i perioden 2008-2018 (Hjeltnes et al., 2019)

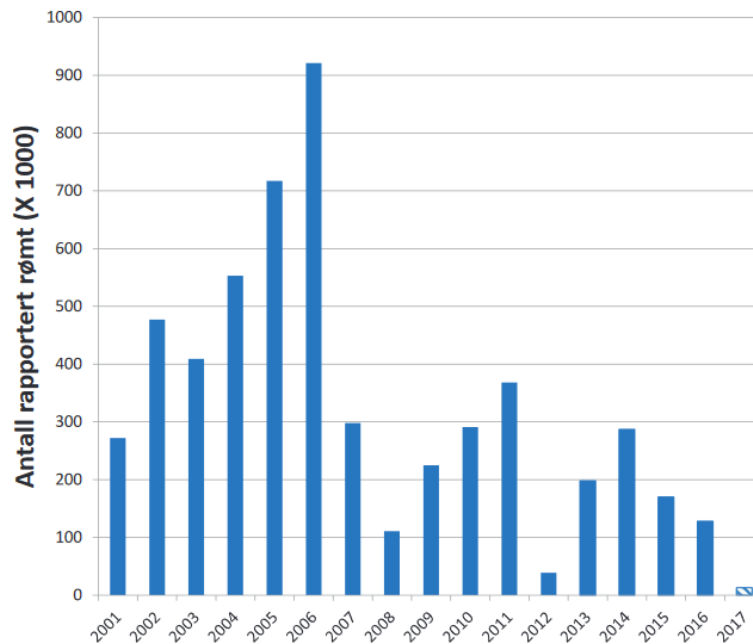
I de siste årene er det blitt observert flere tilfeller av sykdommer som hjertesprekk hos oppdrettslaks og ble i 2017 kåret til den farligste laksesykdommen av Mattilsynet og personell i fiskehelsetjenesten (Hosteland, 2018). Det er ikke rapporteringsplikt om tilfeller av CMS i Norge og det er derfor vanskelig å få en god oversikt over utbredelsen av sykdommen. Dermed kan det føre til store mørketall og det er vanskelig å få en klar oversikt over sykdomstilstanden nasjonalt.

3.2.1.2. Bakteriesykdommer som utgjør en trussel for fiskevelferden

Som tidligere forklart er de fleste bakterieinfeksjoner avhengig av interaksjonen mellom bakterier, miljø og fisk. Det er et bredt spekter av bakterier som potensielt kan gi syk fisk. Blant disse er det både kjente bakteriesykdommer og mindre kjente, mer opportunistiske patogener som tidvis kan gi sykdom. Sykdommer som allerede er tilstedeværende i et område har også mulighet for å infisere tilført fisk. Antibiotika er svært lite brukt relativt til tidligere år og sammenlignet med produksjonsmengden. I dag er situasjonen relativt stabil, mye grunnet at sykdommer som tidligere ga store tap nå er kontrollert gjennom vaksiner. Selv om det er fjernet påbud om visse vaksinasjoner som furunkulose, kaldtvannsvibriose og vibriose, er det allikevel utbredt vaksiner av disse sykdommene i industrien. Tross god kontroll av bakteriesykdommer anses vintersår som en av velferdsproblemene som gir størst bekymring (Hjeltnes et al., 2019).

3.2.2. Genetisk interaksjon og rømming

Fra 2001 var det en økning i rømt laks nesten hvert år fram til toppåret 2006 med over 900 000 rømte laks fra oppdrettsanlegg, som illustrert i Figur 9. Deretter har det vært en reduksjon fram til 2017, hvor det kun var innrapportert 10 000 rømte laks. Disse tallene må sees på som moderate. Ny forskning viser at faktiske tall er to til fire ganger høyere enn de innrapporterte (Skilbrei, Heino, & Svåsand, 2014).



Figur 9: Antall rapportert rømt oppdrettslaks (Grefsrud et al., 2018)

Rømt oppdrettslaks kan både formere seg selv i mellom, og med annen villaks. Dette kan gå ut over den genetiske variasjonen mellom dem. Villaks lever i dag stort sett isolert fra omverden, som dermed medfører at de er svært tilpasset sitt lokale miljø og en bestand sammenlignet med den neste kan ha noe genetiske variasjoner. Norsk oppdrettslaks på en annen side, mangler den genetiske variasjonen som villaks besitter. Selv om den har sitt opphav fra flere ulike villaksbestander i Norge, har målrettet avl og redusert tilgang på nytt genetisk materiale ført til at det kan være høyere grad av genetiske forskjeller mellom oppdrettslaks, enn mellom laksebestander i naturen. Den målrettede avlingen av laks har ført til laks med kommersielle fordeler, blant annet hurtigere vekst, men samtidig er disse fordelene noe som er forbundet med redusert levedyktighet i naturen. Dersom oppdrettslaks rømmer og reproduseres med villaks, kan det ha konsekvenser som at den genetiske variasjonen reduseres, bestand strukturen kan endres og redusert levedyktighet og

tilpasningsevne i de neste generasjonene (Glover, Hindar, Karlsson, Skaala, & Svåsand, 2011).

Havforskningsinstituttet har data fra mer enn 175 elver, hvor to tredeler av all laksen ble vist til å ha svake til store genetiske forandringer. Også i områder hvor det har vært lave rømmingstall (under 10 %) skjer det slike kryssninger (Grefsrud et al., 2018). Forsøk har vist at rømt oppdrettslaks og ynglet deres har en stor påvirkning på en bestand med villaks allerede etter en til to generasjoner. Når disse funnene modelleres fram i tid, viser det at bakgrunnen til villaksen endres i stor grad (Diserud, Fiske, & Hindar, 2010).

Det er foreslått tre grenseverdier for risikoen av genetisk påvirkning fra oppdrettslaks. Under 4 % oppdrettslaks tilsvarer lav risiko, 4-10 % tilsvarer moderat risiko, og over 10 % tilsvarer høy risiko. Det ble bestemt i oppdrettsnæringens sammenslutning for utfisking av rømt oppdrettsfisk at det skal gjøres tiltak mot rømming i elver hvor bestanden består av mer enn 10 % oppdrettslaks, altså kun i elver hvor det er høy risiko for genetisk påvirkning (Lovdata, 2015).

Faktorer som påvirker graden og konsekvensene av genetisk påvirkning består blant annet av størrelsen på bestanden, tetthet, temperaturforhold, samt lengde og høydeforskjeller i elven. Det er enda usikkert hvilke faktorer som har størst innvirkning. Et av de viktigste tiltakene som kan gjøres for å forhindre genetisk påvirkning, sett bort i fra å redusere antall rømte fisk, er å fjerne den rømte fisken før den får bidratt til gyting. Oppdrett av steril fisk kan også være en løsning på dette (Grefsrud et al., 2018).

3.2.3. Forurensing og utslipp

Det er velkjente utslipp som næringssalter og organiske utslipp kan ha store konsekvenser for miljøet. Det er områder med lav vannutskifting og grunnterskel som vil oppleve størst risiko, spesielt hvis det er stort produksjonsnivå i området. De best kvalifiserte områdene for oppdrett har høy vannutskifting og havdybde. Da vil utslippet bli ført med strømmingene og det vil være vanskelig å påvise økte konsentrasjoner av næringssalter og organisk utslipp i området. I dårlige områder derimot vil det bli dannet soner med utslipp av variabel størrelse rundt merdene.

Når utslipp samles opp kan bunnforholdene i nærheten av merden bli potensielt sterkt påvirket om det er lite bevegelse i vannet. Dette kan føre til at biodiversiteten i det utsatte området blir

nedsatt, og arter som har høyere toleranse for utslippene blir overrepresentert (Bergheim & Braaten, 2007; Grefsrud et al., 2018).

Laksefôr er energirikt, men laksen kan kun fordøye 80 % av den tilgjengelige energien. Dette gjør at utslippet har en høy energitetthet, som ellers kunne blitt brukt som ressurs. Laksens appetitt er også påvirkelig av flere faktorer, som vil gi en økning i utslipp fra merdene (Aas & Åsgård, 2017).

Økte nivåer av ammonium og laksens respirasjon vil bidra til at oksygenkonsentrasjonen i vannet reduseres. Mindre tilgjengelig oksygen vil gå utover dyr- og plantevekst i nærheten. Risikoen vil være spesielt høy i områder med lav vannutskifting hvor oksygenkonsentrasjonen allerede kan være lav (Bergheim & Braaten, 2007).

3.2.4. Arealbruk

Det er viktig å ha et effektivt og bærekraftig arealbruk. Etter at oppdrettsnæringen skjøt fart og oppdrettere ville ha velegnede områder, ble det nødvendig å kontrollere det produktive arealet utenfor kysten. Dårlig planlegging og plassering av merder vil være med på å forsterke de problemene som allerede finnes i oppdrettsnæringen, mens det motsatte vil bidra til å lette på dem.

Fiskeri- og kystdepartementet har laget en omfattende liste med punkter som vil være til hjelp når man skal finne en ideell merdplassering. Viktige elementer er regelmessig bruk av «branngater» (barrierer som vil hindre smittespredning), god arealforvaltning og fordeling, regelmessig brakklegging og at det blir gjort gode målinger med de riktige indikatorene. Det vil ikke bare være viktig for å hindre sykdom, men også tap i form av blant annet død fisk og rømming. I oppdrettsområder hvor det oppleves store tap kan de ytterste virkemidlene være relokalisering eller å nedbygge driften.

Ellers har kystområder har for det meste av tiden vært brukt av alle, både næring og privatpersoner, uten at det har oppstått særlige konflikter. De to-tre siste tiårene derimot har utnyttelsen blitt mer konfliktpreget med flere mektige parter. I tillegg til oppdrett er det nå mye skipsfart, boligutbygginger og vindmøller som krever store områder. Bruken av det ene vil påføre en negativ eksternalitet på resten av partene i en eller annen form. Noen vil være lettere å prise, som f.eks. økt drivstofforbruk fra transport som må ta lengre ruter for å unngå

kollisjon med merder. Andre vil være vanskeligere, som f.eks. kostnaden av genetisk interaksjon mellom oppdrettslaks og villaks (Grefsrud et al., 2018).

3.2.5. Fôr og fôrressurser

Laksefôr består av seks ingredienser; fiskeolje, vegetabiliske proteiner og karbohydrater, vegetabilisk olje, fiskemel, fiskeproteinkonsentrat, og diverse vitaminer, mineraler og aminosyrer. Fiskemel- og olje blir lagd av fiskerester som ikke egner seg som menneskelig føde (Sjømatråd, 2019). Frykten er at behovet for laksefôr vil føre til et overforbruk på de villlevende dyrene i havet. Det vil si at bestanden reduseres til et nivå som vil ødelegge den naturlige balansen som finnes mellom arter (Artsdatabanken, 2019).

Det er ikke gjort mye forskning på akkurat dette området, og det er derfor vanskelig å si noe om påvirkningen og omfanget av denne eksternaliteten (Taranger et al., 2011).

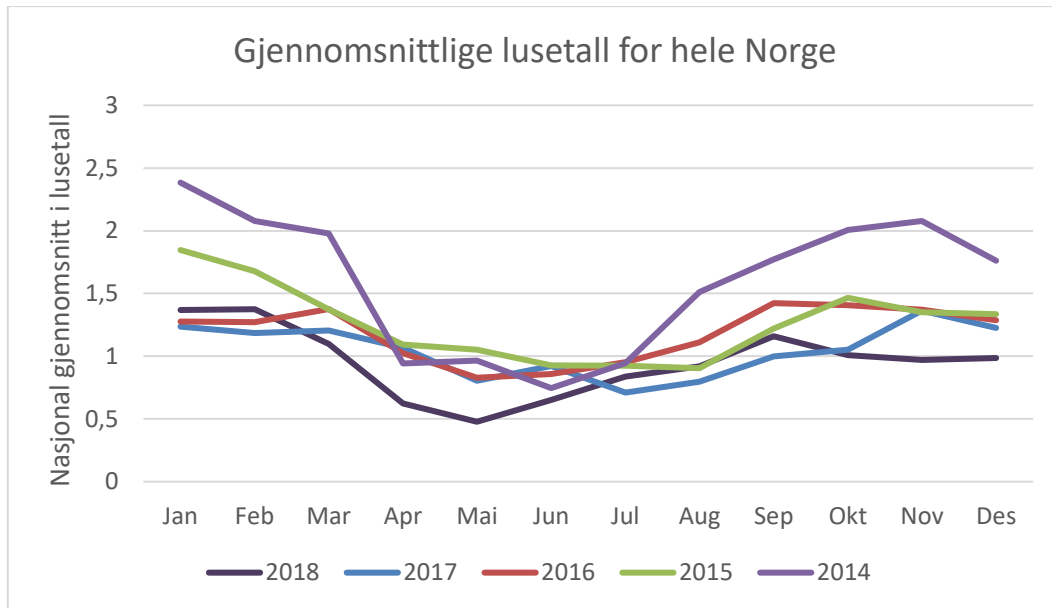
3.3. Lakselus

Lakselus nevnes ikke i hovedmålene for å kunne nå en bærekraftig utvikling i fremtiden, men det kan antas at det er medregnet. Lakselus er en såpass stor utfordring for havbruksnæringen og lakseoppdrett at det derfor er valgt å diskutere dette litt nærmere i tillegg til fem hovedmålene nevnt i kapittel 3.2.

Lakselus er en parasitt som finnes naturlig i norske elver og farvann. Det finnes mange arter av fiskelus, men lakselusen *L. salmonis* er den dominerende typen lakselus som finnes i Norge (Veterinærinstituttet, 2019). Helt siden begynnelsen av havbruksnæringen på 1960-tallet har lakselus vært en utfordring for oppdrettere (Torrissen et al., 2013). Den blir ofte omtalt i media som den største trusselen for lakseproduksjon, samtidig som den er vanskelig å kvitte seg med fullstendig. Lakselusen fester seg til overflaten på laksen og livnærer seg på hud, slim og blod. Det å kontrollere denne parasitten er svært vanskelig, kostbart og viktig for å minimere produksjonstap både for å kunne forbedre fiskehelse og redusere luseangrep blant villaks.

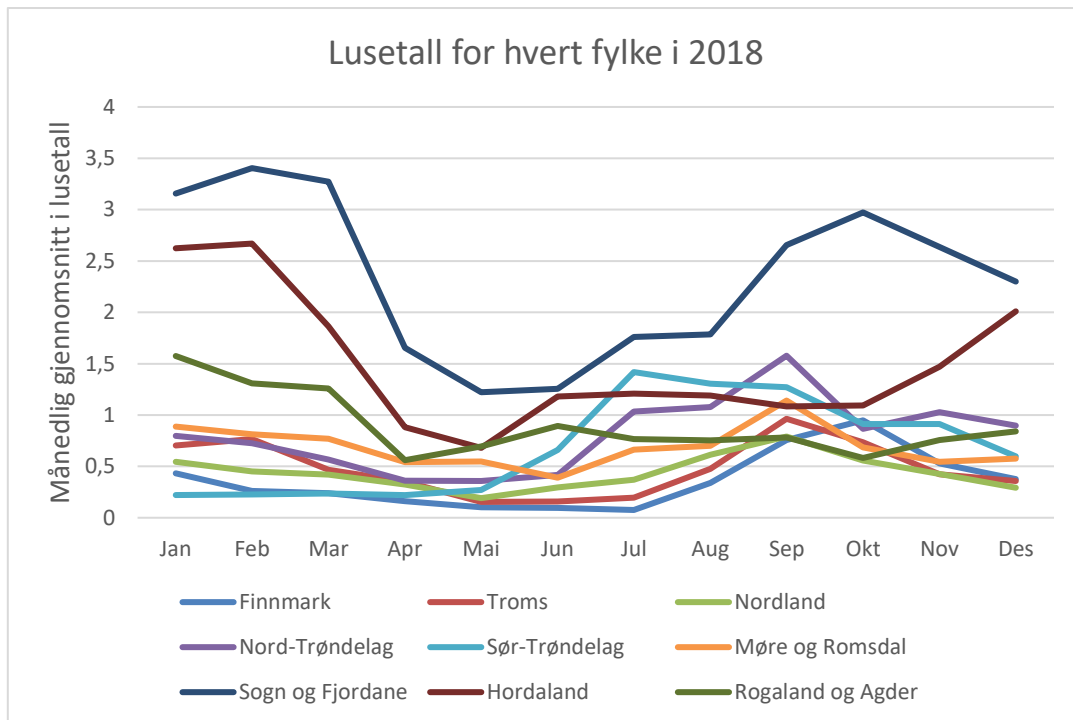
Utviklingen i Norge de siste årene har gått i en positiv retning. Figur 10 illustrerer hvordan utviklingen fra 2014 til 2018 har vært gjennom årene. Vår- og sommermånedene opplever lavest mengde lus, mens høst- og vintermånedene opplever størst mengde lus. I tillegg er det

mulig å se at den gjennomsnittlige lusemengden er i en avtagende trend. Mai måned i 2018 opplevde det laveste lusemengde de siste 5 årene.



Figur 10: Oversikt over gjennomsnittlige, nasjonale lusetall fra 2014 til 2018 (Lusedata, 2019).

Videre er det noen regionale forskjeller som er med å utgjøre forskjeller i mengde lus. Figur 11 illustrerer lusetall for de ulike fylkene gjennom hele 2018. Sogn og Fjordane og Hordaland er fylkene med desidert høyest lusemengde og trekker det nasjonale gjennomsnittet opp. Troms, Finnmark og Nordland som er blant fylkene med lavest mengde lus. Noe av grunnen til dette er fordi havtemperatur har mye å si for lusens trivsel, hvor for lave temperaturer fører til vanskelige levekår for lusen (Veterinærinstituttet, 2019).



Figur 11: Oversikt over lusetall for hver enkelt fylke i 2018 (Lusedata, 2019).

3.3.1. Lakselusens biologi

Det er essensielt å forstå hvordan lakselusen utvikler seg for å kunne bekjempe organismen og utvikle modeller som viser hvilke eksternaliteter som påvirker lakselusens utvikling. Lakselusen lever gjennom åtte livsstadier, og luse vil sette seg til ro på laksen i løpet av det tredje stadiet (Havforskningsinstituttet, 2009). I stadium en til tre er lusen frittlevende og blir fraktet med vannstrømmene. Lakseanlegg med mye vanngjennomstrømming vil derfor ha økt risiko for spredning av lakselus til andre oppdrettsanlegg hvis merdene er infisert. Samtidig er det i løpet av denne perioden at dødeligheten til lakselus er størst. Lusen spiser ikke før de får festet seg til en vert, som medfører seg en betydelig sjanse for at den dør av sult. Levetiden i disse stadiene vil variere fra en uke til en måned og er avhengig av vanntemperaturen.

Stadium fire og fem er hvor lusen er fester seg på laksen for å livnære seg videre til stadium seks, syv og åtte. Disse stadiene omtales også som de mobile stadiene (Havforskningsinstituttet, 2009). Lusen vil da forflytte seg på laksens hudoverflate og kan formere seg. Det er mulig å skille mellom kjønnene på lusen ved preadult II og adulte stadier. Hanner utvikler seg raskere og finner gjerne preadulte hunner slik at de kan være først til å befrukte hunnen så snart den er ferdigutviklet. Hunnlusen kan produsere 150-400 nye egg som frigis til vannmassene som videre kan spre lusen i merden og til andre oppdrettsanlegg.

3.4. Metoder for bekjempelse av smitte

Grunnet de betydelige kostnadene knyttet til utbrudd av sykdom og lakselus, blir det gjort stor innsats på bekjempelsen av disse. Det finnes to hovedkategorier av bekjempelsesmetoder, medisinske og medikamentfrie. Gjennom dette underkapittelet vil vi gå gjennom de viktigste underkategoriene til disse.

3.4.1. Medisinske metoder

Medisinske metoder har historisk sett vært den mest foretrukne metoden å behandle lakselus på. Metoden kan defineres som bruk av kjemiske stoffer som er tilsatt i enten fôret til laksen eller gjennom badebehandlinger. Laksen kan ved visse behandlingsmetoder oppleve stort stressnivå gjennom håndtering av mennesker og derfor anses medisinske metoder på som en mer fordelaktig og skånsom metode å bruke på laksen. Nedsiden er at industrien ser at det forekommer resistens i en større del av lusepopulasjonen en tidligere (Veterinærinstituttet, 2019). Tabell 3 viser en oversikt over andel lokaliteter som gjennomgått behandling for lakselus. Det er mulig at flere av metodene bad, fôr og mekanisk blir brukt samtidig.

Tabell 3: Andel lokaliteter som har gjennomgått behandling mot lakselus (Lusedata, 2019)

Behandlingsmetode	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<i>Bad</i>	58 %	60 %	60 %	59 %	48 %	26 %	15 %
<i>Fôr</i>	22 %	17 %	29 %	39 %	41 %	32 %	26 %
<i>Mekanisk</i>	8 %	7 %	9 %	10 %	40 %	50 %	58 %

3.4.1.1. Fôr

Når laksefôr blir tilsatt medisin blir det kalt helsefôr, som er en skånsom måte å behandle lakselus på. Forskjellen på helsefôr kontra kommersielt fôr er at det inneholder midler som skal styrke laksens immunforsvar, slimlag og hud. Den negative siden med økt konsentrasjon av helsefôr i er at laksens appetitt kan reduseres. Dette betyr igjen at ikke all laks er like motstandsdyktig og den sterke lusen vil overleve, noe som kan føre til at lakselus blir resistente mot denne typen behandling. Derfor har næringen de siste årene i større grad benyttet seg av ikke-medikamentelle metoder (Veterinærinstituttet, 2019).

3.4.1.2. Vaksiner

Vaksiner blir først og fremst brukt for å minske sykdom og dødelighet blant laks i oppdrettsnæringen. Et fravær av vaksiner ville ført til et potensiale for store konsekvenser for miljø og dyrevelferd (Berg, Fjellidal, & Hansen, 2007). Korttidseffekten ved vaksiner er gjerne redusert appetitt hos fisken, noe som reduserer fiskens totalvekt. I visse tilfeller kan vaksinert fisk ta igjen vekttapet og veie det samme som uvaksinert fisk.

Videre kan langtidseffekter være redusert vekst og skjelettmisdannelser i form av komprimerte virvler, men dette er avhengig av et stort antall variabler som vanntemperatur, årstid, saltinnhold, vannstrømmer, og vaksineringsstidspunkt (Berg et al., 2007). For tiden er det ingen krav om vaksiner mot sykdommer i Norge, men Mattilsynet kan gå inn i spesielle tilfeller og påby vaksine mot noen sykdommer (Lovdata, 2008). Det er heller ikke alle sykdommer det er lov til å vaksinere mot (Mattilsynet, 2013).

3.4.1.3. Badebehandlinger

Badebehandlinger blir gjennomført med hydroperoksid (H_2O_2) som blir tilsatt vannet hvor fisken oppbevares. Tidligere har metodikken vært slik at merden ble heldekket med en presenning hvor hydroperoksid ble tilsatt. I senere tid har laksen heller blitt overført til brønnbåter for å unngå at hydroperoksid skal lekke til miljøet og redusere miljøtilstanden i området. Kjemikaliene kan også påvirke fiskehelsen, som gjør at det må brukes med omhu. Ved lav sjøtemperatur kan laksen ta skade i form av økt dødelighet og lav appetitt (Kyst.no, 2001) og ved for høy temperatur kan hydroperoksid bli giftig for laksen (Hjeltnes et al., 2019).

Videre ser industrien en tendens til at lakselus har opparbeidet seg en resistens mot hydroperoksid. Dette skjer ved at lus som ikke blir drept av behandlingen overlever og formerer seg videre, som igjen vil gi mer motstandsdyktig avkom. Tabell 3 viser at lusebehandlinger med medisinske metoder har gått drastisk ned til fordel for mekaniske og andre ikke-medisinske metoder (Lusedata, 2019).

3.4.2. Medikamentfrie metoder

Som forklart over har ikke-medisinske metoder gått drastisk opp de siste par årene. Fra 2017 til 2018 har økningen vært på om lag 16 % og siden 2015 til 2018 har det nesten vært en seksdobling av ikke-medisinske behandlingsmetoder. Vi kan anta at grunnlaget for dette er en økning i motstandsdyktighet blant lus (Hjeltnes et al., 2019).

Selv om bruken av medikamentfrie metoder har økt er det negative sider også ved disse behandlingene. Effekten er avhengig av flere faktorer, som behandlingsmetode, innstillinger/parametere på utstyret, og behandlingstid. Laks som er sykdomsinfisert fra før av vil også ofte oppleve høyere dødelighet ved disse metodene enn ved medisinske metoder.

Hvis behandlingen ikke har vært effektiv nok, eller det kommer nye lusepåslag vil det være nødvendig med flere behandlingsrunder. Når det skjer vil det være fare for at immunforsvaret svekkes grunnet akkumulerte behandlingsskader.

Det er viktig å påpeke at dødeligheten blant fisk som gjennomgår medikamentfrie metoder ser ut til å være redusert fra 2017 til 2018 (Hjeltnes et al., 2019).

3.4.2.1. *Optisk avlusning*

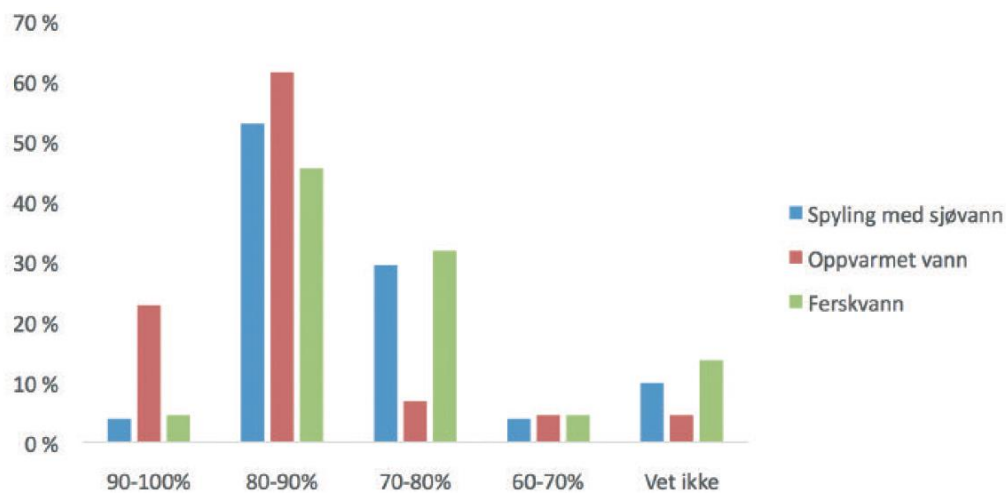
Avlusning ved hjelp av optisk laser er en relativt ny type teknologi hvor laksen kan bli avluset uten håndtering, kjemikalier og skader. Metoden er ment for å kontinuerlig avluse fisken. Laser av lakselus skjer ved at en automatisk sensor oppdager lusen i merden som igjen blir bestrålt av en optisk laserpuls. Hele prosessen tar bare noen millisekunder og dreper lusen umiddelbart (Holan et al., 2017). I og med at teknologien er relativt ny er det ikke godt dokumentert hvor god metoden er med tanke på pålitelighet og hva man kan forvente av kostnader per kilo laks.

3.4.2.2. *Mekanisk avlusning*

Fjerning av lus med mekaniske metoder skjer ved bruk av tre forskjellige spylemetoder:

- Ren vannspyling
- Spyling med turbulent vannstrøm
- Spyling sammen med bruk av børster

Samtidig som den fjerner lus blir det også sett at den fører til tap av skjell og sårdannelser. Mekanisk avlusning ser ikke ut til å være like effektiv som i behandlingen som termisk avlusning, men er bedre enn ferskvannsbehandling (Hjeltnes et al., 2019). Figur 12 viser erfart gjennomsnittlig reduksjon av bevegelige og kjønnsmodne lakselus ved tre forskjellige behandlingsregimer. hvordan oppdrettere opplever effektiviteten av de forskjellige behandlingsmetodene.



Figur 12: Opplevd effektivitet ved forskjellige behandlingsmetoder (Hjeltnes et al., 2019)

3.4.2.3. Rensefisk

Bruken av rensefisk går ut på at man bruker visse fiskearter som naturlig spiser lakselus til å fjerne lusen fra laksen. Ved korrekt bruk kan denne bekjempelsesmetoden spare miljøet ved å minke bruken av kjemikalier, som igjen fører til reduserte kostnader for oppdrettere. Det er spesielt fryktet at bruk av hydrogenperoksid vil gå ut over andre krepsdyr enn lakselusen (Misund, 2018). Rensefisk har også en fordel over andre medikamentelle metoder da det ikke er forventet at lakselusen kommer til å utvikle noen resistens mot denne typen behandling. Det er også rimeligere å bruke rensefisk enn andre metoder, og de kan også potensielt bli brukt som kilder til fôr (Biomar, 2019b).

Det er leppefisk som først ble brukt som rensefisk på slutten av 1980-tallet. I Norge finnes det seks arter av leppefisk; bergnebb, grønngylt, berggylt, grasgylt, brungylt og rødnebb. Av disse er det berggylt, grønngylt og bergnebb som hovedsaklig blir brukt innenfor oppdrett, og oppdrett av berggylt ser en, liten, men positiv utvikling (Misund, 2018). Nå er det arten rognkjeks som blir brukt og satset mest på, og det er store forventninger knyttet til økt bruk.

Fisken er velutviklet i det den klekkes og trives i vann som er under 15 °C. Det gjør at den er godt egnet for bruk i norske oppdrettsanlegg. Man kan danne en fordelaktig symbiose mellom berggyllt og rognkjeks da førstnevnte trives best i varmere temperaturer (Biomar, 2019a).

Rensefisk alene vil ikke løse luseproblemet, men det kan være veldig effektivt i bruk med noen av de andre metodene som er nevnt i dette kapitlet. Det er også utfordringer ved bruk av rensefisk. Lakselus vil for eksempel ikke bli spist hvis rensefisken har andre kilder til mat. De opplever også høy dødelighet, noe som tyder på dårlige levekår og skaper bekymring for veterinærer (Biomar, 2019b).

3.4.2.4. Termisk avlusning

Termisk avlusning skjer ved at laksen føres inn i et vannbad som er mellom 29-34 °C, hvor den blir værende i rundt 30 sekunder. Et hovedproblem ved denne behandlingsmetoden er at den har vist seg å være smertefull for laksen og kan øke dødeligheten. Noen av konsekvensene av dette er indre blødninger og panikk hos fisken. De hygieniske og miljømessige forholdene har også vist seg å være dårlige i vannbadene (Hjeltnes et al., 2019).

3.4.2.5. Luseskjørt

Luseskjørt går under preventiv behandling. Det skjer ved at oppdretteren tildekker omkretsen av merden ned til 10 meters dybde med en duk som er fin nok til at vann kan flyte gjennom, men ikke lakselus. Forsøk har vist at luseskjørt kan redusere nivået av lakselus med 70 %, samt redusere rømning gjennom minket behov for avlusning (Kvistad, 2013). Et problem ved bruk av luseskjørt er at oksygenivået i oppdrettsanlegget kan bli lavt (Hjeltnes et al., 2019).

3.5. Fremtidige metoder for bekjempelse av negative eksternaliteter

Det er naturlig å anta at metodene for bekjempelse av negative eksternaliteter vil endre seg i fremtiden. Spesielt når man ser at eksternalitetene i seg selv ikke er statiske, så må også metodene tilpasses. Noen av de største utfordringene næringen har i dag er høye priser, opprettholdelse av etterspørsel, strenge miljøreguleringer og produksjonskostnader (primært relatert til fiskehelse og økende priser på fôr) (Akvagroup, 2015). For å sikre fremtidig vekst i næringen er det viktig at ny teknologi utvikles som kan møte den økte etterspørselen

fremover. Ifølge NRK ønsker den marine næringen å fordoble produksjonen innen 2030 og femdoble innen 2050, noe som vil kreve investeringer på 500 milliarder (NRK, 2019). En slik optimisme til økning i produksjon gjør at næringen må finne nye løsninger på eksisterende problemer som evolusjon av lakselus, sykdom, markeder som er i endring og miljøreguleringer. I kapittel 3.5.1 til kapittel 3.5.4 legges det frem noen av de potensielle løsningene og nye teknologiene som næringen ønsker å kunne utvikle videre.

3.5.1. Landbaserte oppdrettsanlegg

Teknologien som takler de negative eksternalitetene i dag klarer bare til en viss grad å dempe effektene, ettersom de biologiske faktorene er mange og utfordrende. En av de mest lovende teknologiene som finnes er landbaserte anlegg, også kalt «recirculating aquaculture systems» (RAS), hvor det har blitt sett store forbedringer de siste årene. Anleggene resirkulerer nesten 100 % av vannet som er i bruk, har høy kontroll over fiskevelferd. Videre forskning på optimal drift er nødvendig, og det må utvikles måter å ta i bruk avfallsstoffene som kommer fra slik bruk til noe nyttig (Berge, 2019; Espmark, 2019). Argumentene for denne type teknologi ser ut til være forbedringer som sakte men sikkert fører mot mer og mer oppdrett på land. Analyser gjort av Deloitte tilsier at produksjonskostnadene på land er nesten identiske med produksjonskostnadene til sjøs (Akvagroup, 2015). Videre anslås det at investeringene i et landoppdrettsanlegg er noe høyere enn tradisjonelt oppdrett, men med tanke på reduksjonen av negative eksternaliteter og mengden kontroll av fiskehelse og levevilkår vil øke kan det være verdt investeringen.

En av grunnene til at oppdrett ikke gjøres i større grad på land er at det trengs mer forskning. Fiskevelferd er et sammensatt og komplisert bilde og strukturen på lukkede anlegg på land er svært avhengig av rammebetingelser som myndighetene velger å følge. Selv med en reduksjon i negative eksternaliteter som lakserømming og lakselus er kanskje ikke lukkede anlegg på land alene som er løsningen (Kraugerud, 2019). Siden laks har høy vekstrate betyr det at gjerne store landområder må til for å gi laksen den plassen som trengs for optimal velferd. Derfor kan det være nyttig med landoppdrett i begynnelsen av vekstfasen for å gi robust laks, for så å kunne vokse til slaktstørrelse i sjøanlegg. I tillegg vil en slik kombinasjon gi kortere produksjonstid til havs som gjør at de kan unngå vinteren med de verste stormene som igjen reduserer rømmingen.

3.5.2. Offshore-anlegg

Offshore-anlegg kalles gjerne for eksponerte havbruk og antas å være i bruk om få år. En av hovedgrunnene til at eksponerte havbruk sees på som en lønnsom satsing er ikke fordi kostander knyttet til negative eksternaliteter blir mindre, men heller at volumet som produseres er markant høyere (Espmark, 2019; Lorentzen, 2016). Forventningene til eksponerte havbruk er at vekstforholdene er mer stabile og mer vannbevegelse som kan øke fordelingen av eventuelle avfallsstoffer. Avstanden mellom oppdrettsanleggene vil også være større som er med på å redusere effekten av negative eksternaliteter ytterligere. Dette er store operasjoner og strukturer som ikke har blitt prøvd før, men håpet er at havbruksnæringen kan ta nytte av erfaringer med installasjoner offshore fra olje- og gassektoren (Backe, 2017). Her er det viktig med gode tekniske løsninger med høyt fokus på sikker og pålitelig drift for å realisere driftskonseptet (Espmark, 2019). Figur 13 viser hvordan en slik type anlegg kan se ut.

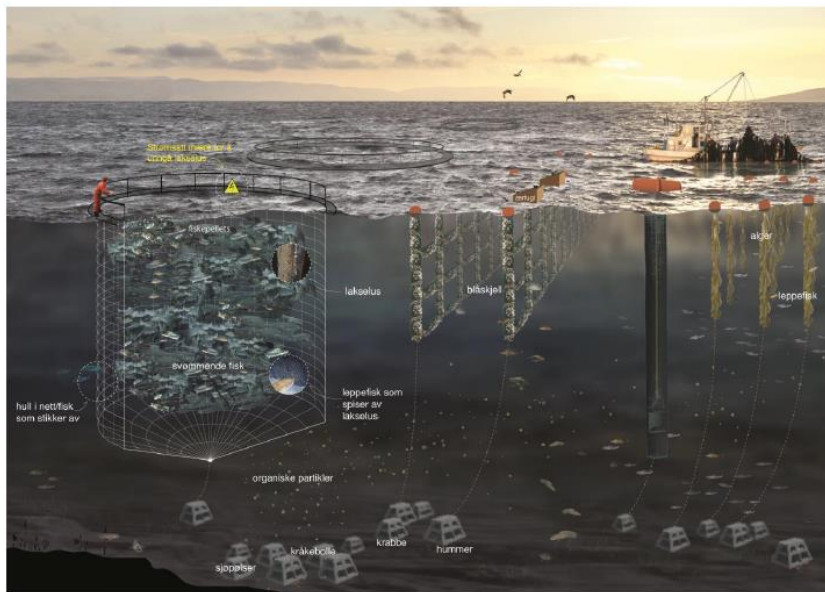


Figur 13: Offshoreløsning for oppdrett fra Salmar utenfor Frøya (Espmark, 2019)

3.5.3. Integrerte havbruk

Integrerte havbruk handler om å kunne utnytte ressursene i høyere grad i industrien enn det gjøres i dag. I et slikt anlegg vil det være samhandling mellom produksjon av arter på ulike trofiske nivåer, det vil si arter fra ulike trinn i næringskjeden (Bøhle, 2019). En rapport fra Bellona henviser til at dette kan være en løsning for å klare visjonen om stabil og optimal bruk av havressurser innen 2050 (Bellona, 2013). Integrert Multi-Trofisk Akvakultur (IMTA) er et system som drar nytte av et polykultursystem der ulike arter dyrkes sammen. Med andre

ord, et lite økosystem hvor de ulike artene kan bidra til vekst hos hverandre, hvor avfall fra en art kan bli næringskilde til den neste.



Figur 14: Integrert havbruk med alger, blåskjell, laks og virvelløse dyr (Bellona, 2013)

I Figur 14 vises det et eksempel på et slik polykultursystem. Blåskjell kan blant annet leve av plankton, avfall fra fisk og organisk materiale fra fiskefôr. Dermed kan det ubrukte fôret bli næring for en annen art fremfor å føre til skade i naturen. Videre kan også tare og alger brukes til å ta opp næring fra avføring som resirkuleres fra laksen (Bellona, 2013). Argumentene for slike anlegg er at de skal gi høyere avkastning gjennom oppdrett av flere arter, høyere utnyttelse av ressurser, samt ha potensiale for økt antall arbeidsplasser.

3.5.4. Kunstig intelligens

Noen av de største teknologiske endringene bedrifter opplever i dag, på tvers av flere bransjer, er innenfor IT og digitalisering. To av hovedområdene er innenfor kunstig intelligens og det som kalles «Big Data». Ofte brukes det et mangfold av sensorer i merdene som skal forsikre at de rette forholdene for vekst er til stede. Sensorene måler blant annet lyd, lys, biomasse, pH, temperatur, vannstrøm og atferd. Utfordringen ligger i at den store mengden av tilgjengelig data må settes i system og omformes til kunnskap. Mengden er ofte for stor for vanlige personer å analysere, og det er her kunstig intelligens kommer til å styrke næringen (Tekna, 2018). Kunstig intelligens kan også føre til større grad av automatisasjon, som kan forenkle mye av driften og redusere driftskostnader ytterligere. Tekna skriver også at det å

flytte merdene til havs vil ikke alene sikre bekjempelse av negative eksternaliteter, men en kombinasjon av gode tiltak og nyttige løsninger vil kunne sikre fremtidig produksjon.

4. Teori

I dette kapitlet vil vi gå gjennom de forskjellige modellene vi bruker for å bygge opp den bioøkonomiske konseptmodellen. Det er fire hoveddeler:

- Modell K som modellerer profitttapet til et fiskeri om det er et oppdrettsanlegg i fiskeområdet
- En parasittmodell som forteller noe om utvikling av antall lakselus
- En sykdomsmodell som forteller om en sykdom vil dø ut i en populasjon eller om det fører til et stortilt sykdomsutbrudd
- En sonemodell som forteller om hvor langt infisert materie og parasitter kan forflytte seg, og tilhørende sannsynlighet for at smitte faktisk skjer

4.1. Modell K

Mikkelsen har utviklet en modell som tallfester eksternaliteter et fiskeri vil oppleve fra oppdrettsanlegg. Denne modellen tar for seg reduksjonen i bærekapasiteten til et område på grunn av oppdrettsanlegg (Mikkelsen, 2007).

Ligning (4.1) viser den naturlige vekstraten $F(x)$ for en fiskestamme:

$$F(x) = rx \left(1 - \frac{x}{K_0 - \varphi S} \right) \quad (4.1)$$

Her er r vekstraten til laksebestanden x , $K_0 - \varphi S$ er den effektive bærekapasiteten, hvorav K_0 er den «naturlige» bærekapasiteten, φ er en sensitivitetskoeffisient som tar for seg hvorvidt produksjonen fra oppdrettsanlegget, S , påvirker den effektive bærekapasiteten. $K_0 - \varphi S > 0$ må være gyldig for alle S . Modellen antar at det er et lineært forhold mellom S og den effektive bærekapasiteten, men ofte vil dette være en forenkling.

Videre kan man anta at fangstraten, h , kan beskrives som:

$$h = qEx \quad (4.2)$$

hvor E er fiskeinnsatsen og q er fangstfaktor.

Netto vekstrate $G(x)$ beskrives som den naturlige veksten minus fangsten:

$$G(x) = F(x) - h \quad (4.3)$$

Om fiskepopulasjonen er stabil kan man anta at den naturlige veksten er lik fangsten. Den stabile mengden av fisk, \bar{x} , kan da beskrives som en funksjon av fiskeinnsats:

$$\bar{x} = \frac{K_0 - \varphi S}{1 - \frac{qE}{r}} \quad (4.4)$$

Dette betyr at høyere produksjon S , gir en lavere stabil populasjon for en gitt fiskeinnsats. Her vil $\varphi > 0$, fordi det er antatt at eksternaliteter er negative. Videre antas det at enhetskostnaden c relatert til fiskeinnsats er konstant, samt at prisen for fisk p_f er konstant. Profitten til fiskeriet kan da regnes ut med ligning 5.5:

$$\pi_f(x, E) = p_f q E x - c E \quad (4.5)$$

Ved å slå sammen ligning 5.4 og 5.5 får vi et uttrykk for profitt ved stabil fiskepopulasjon avhengig av fiskeinnsats E og oppdrettsproduksjon S :

$$\pi_f[\bar{x}(E), E] = p_f q (K_0 - \varphi S) \left(E - \frac{qE^2}{r} \right) - c E \quad (4.6)$$

Ligning 5.6 er utgangspunktet for utviklingen av modellen for utregning av de negative eksternalitene i oppgaven. Videre vil det bli lagt frem modeller for negative eksternaliteter som påvirker bærekapasiteten til et oppdrettsanlegg.

4.2. Parasittmodell

For å kunne se på påvirkningen av lakselus som en negativ eksternalitet på lakseoppdrett har vi tatt utgangspunkt i Roberts (Roberts, 1995) sin modell for parasittmodeller. Modellen baserer seg på ligning 5.7, 5.8, og 5.9, som til slutt gir ligning 5.10.

I og med at lakselus er parasitt, er dette et godt utgangspunkt for å kunne videreutvikle seg nærmere en presis modell. Roberts første ligning tar for seg endringen i antall luselarver over tid uttrykt som:

$$\frac{dL}{dt} = -(p + \beta H)L + \lambda(m)P \quad (4.7)$$

Hvor L er antall infiserte parasittlarver blant vertspopulasjonen, P er antall fullvokste parasitter i vertspopulasjonen, H er populasjonstettheten som antas å være konstant, β er raten for parasitter som spises av laksen, p er raten parasitter som dør grunnet mangel av verter til å livnære seg på, og fullvokste parasitter legger egg som utvikler larver med rate $\lambda(m)$.

Videre vil parasittlarvene utvikle seg til voksne parasitter med sannsynligheten $p(m)$ og en dødelighetsrate $\mu(m)$, uttrykt som:

$$\frac{dP}{dt} = p(m)\beta HL - \mu(m)P \quad (4.8)$$

I disse formlene er λ , p og μ uttrykt ved m , som er et mål på motstandsdyktigheten i vertspopulasjonen. Det er mulig å uttrykke denne motstandsdyktigheten som:

$$\frac{dm}{dt} = -\beta L - \sigma m \quad (4.9)$$

Dette betyr at m er den gjennomsnittlige motstanden og «utfordringen» som parasittene må overvinne over tid for å infisere vertspopulasjonen. Parameteren σ er definert som en rate hvor m vil synke ved fravær av «utfordringer» å overvinne. Med andre ord, hvis parasittene ikke opplever ny motstandsdyktighet i populasjonen vil det bli lettere og lettere for lakselusen å infisere laksen om motstandsdyktigheten er konstant, som beskrevet av raten σ . Ved økt motstandsdyktighet i vertspopulasjonen vil det minke muligheten for; parasittenes evne til å legge egg, at parasittlarver utvikler seg til utvokste stadium, og at dødeligheten blant parasittene øker. Dette betyr at μ er en økende funksjon av m , mens λ og p er minkende funksjoner.

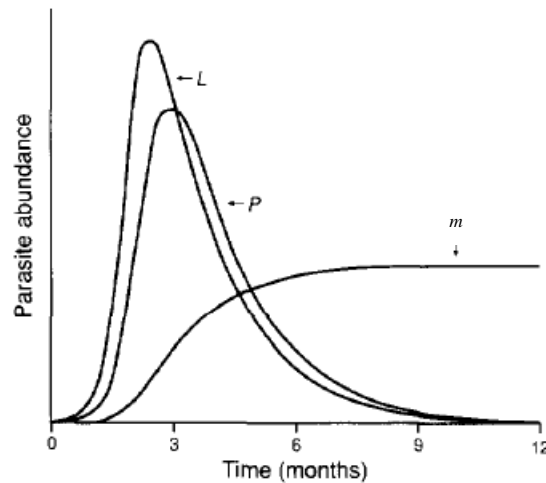
For å finne et uttrykk for stabile forhold settes $dm/dt = 0$ (konstant motstandsdyktighet i vertspopulasjonen) og $dP/dt = 0$ (konstant mengde parasitter) for å få uttrykk for henholdsvis L og P . Videre settes $dL/dt = 0$ og settes inn uttrykkene for L og P . Resultatet blir da:

$$Q(m) = \frac{\lambda(m)p(m)\beta H}{(p + \beta H)\mu(m)} = 1 \quad (4.10)$$

$Q(m)$ forklarer om mengden parasitter blant vertspopulasjonen er økende eller minkende. Når $Q(m) = 1$ er det stabile forhold. $Q > 1$ kan forstås som at evnen til parasittene er større enn dødeligheten, som da vil gi økende mengde parasitter blant laksepopulasjonen. Når $Q < 1$ kan en anta at det også finnes en verdi som gir $Q = 1$ og stabile forhold for P , L og m . I en situasjon hvor $Q(m) < 1$ finnes det ingen verdier som gir stabile forhold, da vil en se at

parasittmengden går mot 0 og dør ut over tid. Figur 15 illustrerer hvordan L og P vil minke ved økt motstandsdyktighet når $Q > I$.

Samtidig er det viktig å merke seg at modellen gjør visse forenklinger. Ved oppdrett av laks kan det hende at laksen vokser opp i områder som allerede inneholder parasitter, som igjen kan gi periodiske svingninger i forholdene som skal til for å gi $Q = I$.



Figur 15: Modellering av L og P når m øker og $Q < I$

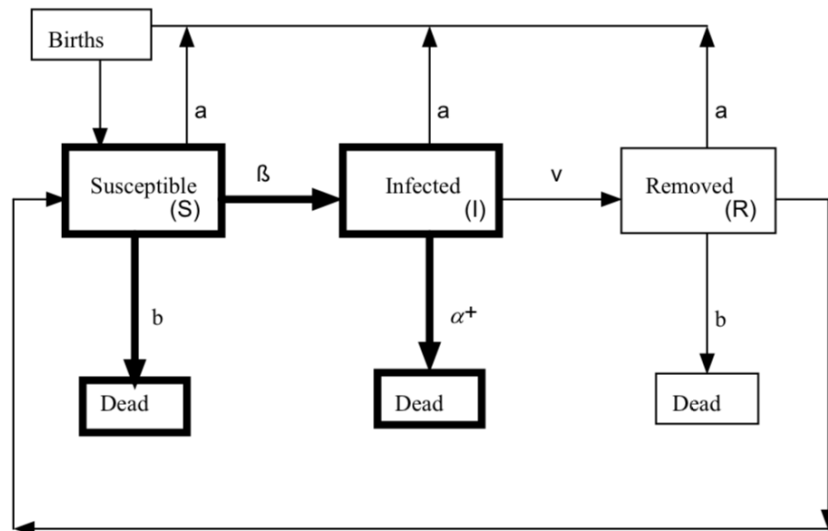
4.3. Sykdomsmodell

Sykdomsmodellen som er brukt er utledet av Ögüt (Ögüt, 2001). Modellen tar hensyn til den grunnleggende dynamikken i fiskesykdom og gjør et forsøk på å forenkle faktorene som er med på å bestemme sannsynligheten for sykdomsutbrudd i oppdrettsnæringen.

Det er passende å dele en fiskestamme inn i tre segmenter i henhold til smittestatus:

- Utsatt fisk (S_u): Fisk som ikke er infisert, men som kan bli smittet og infisert
- Infisert fisk (I): Fisk som er infisert og kan smitte andre
- Fjernet fisk (R): Fisk som har dødd av sykdommen, blitt friske, er immune eller som har vært isolerte fra sykdommen

Sykdomsspredning vil følge den matematiske SIR-modellen (utsatt (S_u) \rightarrow infisert (I) \rightarrow fjernet (R)) som er vist i Figur 16. SIR-modellen ble først brukt i 1927 og har siden blitt brukt på en rekke sykdommer for både fisk, dyr og mennesker (IDM, 2019).



Figur 16: SIR-modellen (Ögütlü, 2001)

Det er antatt at direkte overførbare sykdommer følger såkalte «mass action»-teorien. Den sier at antall verter som blir infiserte er lik produktet av tettheten av utsatte fisk og infiserte fisk. Dette tilsier at antall suksessfulle berøringer mellom fisk utgjør omfanget av smitte. I tillegg antas det at en andel av populasjonen (N), er utsatt for smitte og resterende er infiserte. Andelen infiserte fisk vil ha $\alpha * I$ potensielle interaksjoner i form av berøring per tidsenhet, hvor α er overføringskoeffisienten. Antall nye smittetilfeller per tidsenhet kan uttrykkes av ligning 4.13

$$\alpha * S_u * I \quad (4.13)$$

Overføring av patogene organismer som kan føre til sykdom mellom verter kan skje enten direkte eller indirekte. Direkte smitte kan skje fra fisk til fisk, ved inntak av patogener, gjennom avføring eller av skader. Indirekte smitte skjer derimot gjennom generasjoner og avling.

Overføringskoeffisienten α avhenger av to faktorer:

- i) Antall berøringer gjort som er direkte relatert til tettheten av utsatte fisk
- ii) Sannsynligheten av at en berøring resulterer i smitteoverføring

Det er rimelig å anta at all fisk oppbevart har samme sannsynlighet for å komme i kontakt med en infisert fisk eller infisert materie ettersom de lever i et inngjerdet miljø.

For at et sykdomsutbrudd skal finne sted, må antall utsatte fisk (S_u) være større enn en viss grenseverdi for tetthetsnivået (N_T), altså $N_T < S$. Antall infiserte fisk (I) vil heller ikke øke

med mindre en andel av populasjonen (N) er større enn grenseverdien for tetthetsnivået N_T , altså $N_T < N$. Grenseverdien for tetthetsnivået estimerer dermed hvor sykdommen ikke lenger kan fortsette. Denne tettheten er gitt av følgende formel:

$$N_T = \frac{(a + b + v)}{\beta} \quad (4.14)$$

hvor a er dødelighetsraten knyttet til infiserte fisk, b er den naturlige dødelighetsraten og v er fjerningsraten.

Den viktigste og mest kritiske komponenten for en slik sykdomsmodell er reproduksjonsraten (R_0). Reproduksjonsraten er i dette tilfellet definert som gjennomsnittet av antall fisk som er direkte smittet av en annen infisert kilde gjennom hele fiskens infiserte periode etter å ha blitt utsatt i en total følsom populasjon.

Faktoren estimerer om det vil oppstå et utbrudd som følge av at et infisert individ blir introdusert i en totalt utsatt fiskepopulasjon. Den kan ta en av tre forskjellige verdier med følgende konsekvenser:

- $R_0 < 1$: Sykdommen vil forsvinne over tid
- $R_0 = 1$: Sykdommen vil bli epidemisk og vedvarende uten at en storskala epidemi oppstår
- $R_0 > 1$: Det vil oppstå en epidemi med forhøyede nivåer av sykdomsrelatert dødelighet i populasjonen

Det er mulig å estimere R_0 med følgende formel:

$$R_0 = \frac{S_u}{N_T} \quad (4.15)$$

Ved å sette inn for N_T vil man få endelig formel for R_0 :

$$R_0 = \frac{\beta N}{a + b + v} \quad (4.16)$$

Ettersom a er avhengig av flere parametere, vil det være utfordrende å gjøre en presis estimering av parameteren, noe som følgelig gjør det vanskelig å finne den ekte verdien av R_0 . I kapittel 7 vil det bli gjennomført en estimering for å tilnærme seg faktisk verdi av R_0 .

4.4. Soneinndeling

I kapittel 2 ble trafikklyssystemet forklart og hvordan det brukes for å regulere vekst og reduksjon i produksjonskapasiteten. Her ble fargene grønn, gul og rød brukt for å indikere om miljøsituasjonen i de ulike lokalitetene. Et lignende system kan brukes for å beskrive smittefaren fra lus og sykdom fra andre nærliggende oppdrettsanlegg. I dette underkapittelet vil det bli gjennomgått hvordan inndelinger av slike smittesoner kan bli gjennomført og hva slags forskning det blir gjort på området.

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF) gjennomførte et forskningsprosjekt kalt «Strategier for å begrense spredning av PD mellom sjølokaliteter med oppdrettet laksefisk», med fokus på «smittebegrensende driftsopplegg med basis i vanntransport og utbruddsrisiko». Hovedfunnene i forskningsprosjektet var at det kreves en objektiv måling av fiskevelferd for å bekjempe virus, bakterier og parasitter. For å kunne ha en smart organisering av brakklegging, generasjonssoner og lokaliteter trengs det mer kunnskap om vanntransport. Videre bør det eksistere tilgang på ulike former for lukket produksjon i kritiske perioder (FHF, 2018).

Enda er det ikke bestemt hvor store avstandene må være for å begrense smitte mellom produksjonsområder. Spredning av lakselus og sykdommer er et komplekst bilde som ofte krever omfattende modellering av strømstyrke, strømretning, hvilket smittestoff som skal bekjempes og menneskeskapte smitteveier (FHF, 2018). Fra Figur 17 (venstre) vises et eksempel på lokaliteter som er nærme hverandre, men på grunn av topografi og dybdeforhold er det liten vannkontakt mellom anleggene. Økt produksjonsvolum i slike anlegg trenger ikke nødvendigvis å føre til økt smittepress. Fra anlegget i midten er det få topologiske barrierer og sterk ensrettet havstrøm. Dette vil føre til god gjennomstrømming i merdene, men også til økt grad av vannkontakt mellom lokalitetene. I områder som det som vises til høyre, som ligger nært land og har lav gjennomstrømming, er potensialet for lukket produksjonsteknologi større.



Figur 17: Lokalteter med ulike topologiske forhold (FHF, 2018)

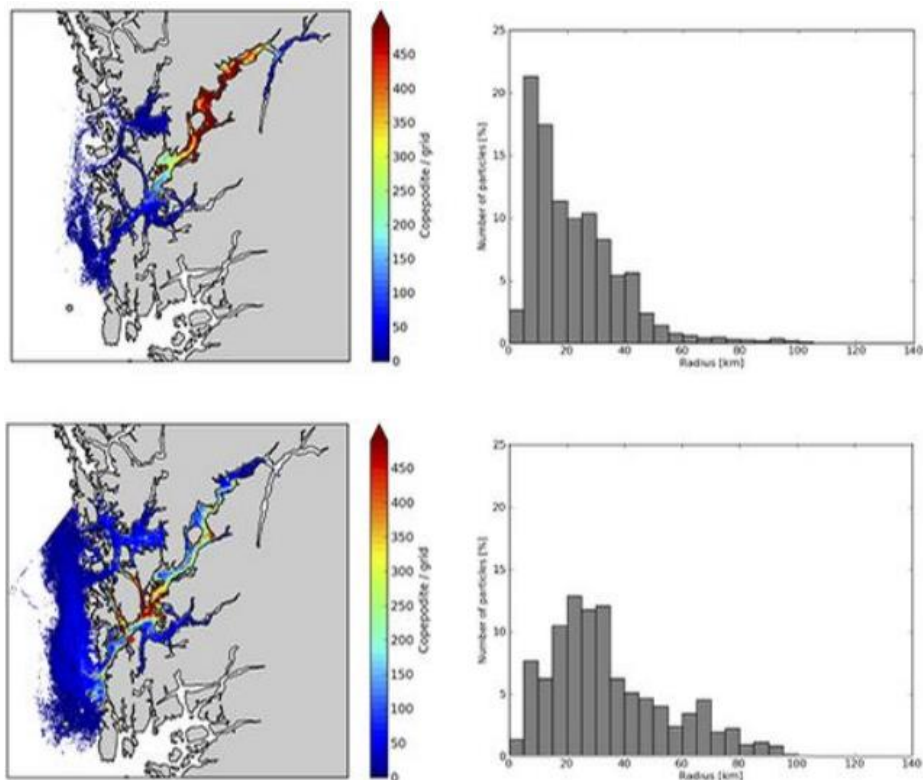
4.4.1. Spredning av lus

For å kunne lage en sonefaktor i modellen, trengs det informasjon om hvordan parasittene og de patogene organismene oppfører seg med vannstrømmene. Som forklart i kapittel 3.3.1. er lakselus fritt flytende i vannmassene i tidlige livsstadier før den setter seg på laksen. Variasjonen av havstrømmer vil derfor avgjøre hvordan spredningen av lusen vil være (Havforskningsinstituttet, 2018). Illustrasjonen fra Figur 18 viser dette. I bildet til venstre spres lakselusen utover fjorden, mens bildet til høyre viser utslipp fra samme posisjon én uke senere, hvor lusen spres innover fjorden.



Figur 18: Datasimulering av spredning av lakselus etter 2 døgn (Havforskningsinstituttet, 2018).

Strømningsforholdene er også svært ulike om basert på hvor i fjorden man befinner seg. Vanligvis har forholdene lavere variasjon innover fjorden. Øverst i Figur 19 viser datasimuleringer hvordan spredning kan være innerst i en fjord. Nederst i samme figur vises simuleringer for den ytterste delen av fjorden.



Figur 19: Datasimulering av lakselus i Hardangerfjorden (Havforskningsinstituttet, 2018).

Datasimuleringen gir grunnlag for å kunne estimere hvor langt spredningspotensiale er for lusen. Innerst i fjorden ser en at mesteparten av lusen befinner seg innenfor et område på 25 km, mye mellom 25 og 50 km, og lite lus mer enn 50 km fra spredningskilden. I ytre deler av fjorden er mesteparten av lusen 35 km unna spredningskilden, mye mellom 35 og 80 km og svært lite over 80 km unna spredningskilden (Havforskningsinstituttet, 2018).

Det er enda ukjent hvor stor konsentrasjon av lakselus som skal til før det gir et smittepress for villaks og andre oppdrettere. Det er vist at noen lus kan spres over 100 km fra utslippsstedet, men likevel er den største konsentrasjonen innenfor en radius på 10 km. Siden lakselus føres med vannmassene vil det også medføre en automatisk fortynningsprosess (Havforskningsinstituttet, 2018). Det hele danner et svært komplekst bilde av spredningen av lakselus. Datasimuleringer fra Havforskningsinstituttet (Havforskningsinstituttet, 2018) gjør det mulig å estimere en sonfaktor til bruk i modellen i kapittel 6.

4.4.2. Strategier for bekjempelse av sykdom

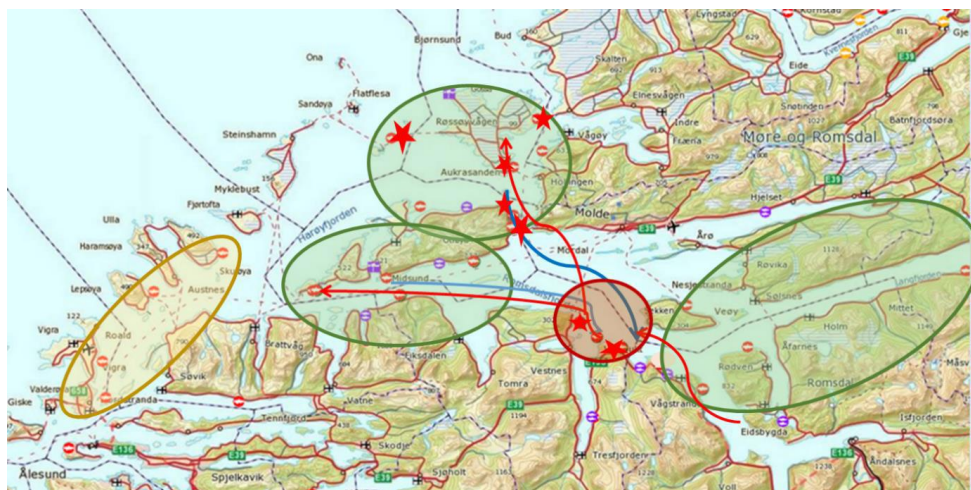
For å kunne vurdere begrensning av smittespredning i ulike områder er det viktig å forstå sammenhengen mellom eierstruktur, lokalitetsstruktur og smitteveier. Ofte blir lokalitetene

ikke plassert etter én mal, og samspillet mellom hvem som styrer planarbeidet, næringstradisjoner og naturforhold er variert. I rapporten fra FHF kommer det frem at det vil være nødvendig «å se det store bildet» hvor planarbeidet av produksjonsområder sees i større sammenheng enn på interkommunalt nivå, gjerne i form av et nytt forvaltningsregime (FHF, 2018). Videre ser rapporten nærmere på 3 områder hvor oppdrettsnæringen kan forbedres for å styrke bekjempelsesstrategien mot sykdom. Disse områdene er relatert til lokalisering, soneinndeling og drift.



Figur 20: Virusspredning fra to ulike lokaliteter. Røde piler viser strømretningene (FHF, 2018)

Som vist i Figur 20, kan samme type virus påvirke fjordsystemet ulikt. På lokalitet 1 vil smittepresset være størst nordover med kyststrømmen. Med smitte i lokalitet 1 er det liten fare for setting av smolt i lokaliteter lenger inn i fjorden. Lokalitet 2 på den andre siden er mer kritisk fordi vannretningen i perioden med setting av vårsmolt kan føre store vannmengder nord- og vestover, dermed øke smittepresset. Lokaliteter sørøst for lokalitet 2 vil oppleve mindre smittepress. Smittet fisk ved lokalitet 2 burde fjernes for å hindre spredning av smitte, eventuelt heller sette høstsmolt, som igjen vil endre driftsrutiner.



Figur 21: Dagens soneinndeling (rød og grønn sirkel), og alternativ sone (gul sirkel) (FHF, 2018)

Soneinndelingen i det samme området er illustrert i Figur 21. Her er de grønne og den røde sirkelen de eksisterende sonene. Som forklart så har lokaliteter i den røde sonen stort potensiale for videreføring av smitte på grunn av høy vannkontakt med lokaliteter lenger nord og vestover. En potensiell løsning på dette problemet er å vurdere en ny soneinndeling hvor lokaliteter i rød sirkel flyttes til alternativt område markert med gul sirkel til venstre i Figur 21. Det vil føre til at smittepresset mellom lokalitetene og sonene reduseres.

Det er departementet som gjennom trafikklssystemet avgjør om miljøpåvirkningen er akseptabel, moderat eller uakseptabel, hvor blant annet lusepresset i villfisk er høyt prioritert. Ved å sette opp brakklegging av store generasjonssoner kan både smittepress fra virus, bakterier og lakselus reduseres. Lakselus og virussykdommer burde dermed være på et minimalt nivå når villsmolt vandrer ut i sjøen. Dermed vil også lusepresset være lavt i lang tid, før det eventuelt skulle øke igjen. Generasjonssoner fører til godt samarbeid oppdretterne seg imellom, samt mellom oppdretterne og ressursforvaltningen (FHF, 2018).

5. Konseptmodell

Med utgangspunkt i modell K som ble introdusert i kapittel 4, utvikles konseptmodellen ved å inkludere parasittmodellen gjennom variabelen Q , og sykdomsmodellen gjennom variabelen R . Positive verdier av disse variablene vil redusere bærekapasiteten i oppdrettsanlegget, som gjør at de kan sees på som komponenter av φ :

$$\varphi = Q + R \quad (5.1)$$

Inkorporering av ligning 5.1 i 4.6 gir:

$$\pi = p_f q [K_0 - (Q + R)S] \left(E - \frac{qE^2}{r} \right) - cE \quad (5.2)$$

Slik 5.2 er uttrykt nå forteller den at en positiv verdi av summen av Q og R vil gi en negativ effekt på bærekapasiteten K_0 . En negativ verdi av summen av Q og R vil gi det motsatte. I modellen må bærekapasiteten K_0 sees på som den maksimale mengden slakteklar fisk som kan stå i et oppdrettsanlegg. Hvis $Q + R = 0$, betyr det at oppdretteren har klart å slakte all fisken uten noe tap grunnet lus og sykdom. Det antas at en laks som blir syk eller får lus enten dør eller er ikke mulig å selge.

S_T representerer summen av mengde laks i et nærliggende oppdrettsanlegg som er smittet av lus, S_L , og mengden laks i et nærliggende oppdrettsanlegg som er smittet av sykdom, S_S :

$$S = S_L + S_S \quad (5.3)$$

Som gir:

$$(Q + R)(S_L + S_S) = QS_L + QS_S + RS_L + RS_S \quad (5.4)$$

QS_S representerer stigningen i lus blant sykdomsinfisert laks, og RS_L representerer stigningen i sykdom blant laks infisert med lus. Her må det gjøres en forenkling om at syk laks ikke har noen lus, og at laks som har lus ikke er syk, grunnet mangel på data. Det gir:

$$QS_S = RS_L = 0 \quad (5.5)$$

Inkorporering av 5.3 og 5.5 i 5.2 gir:

$$\pi = p_f q (K_0 - QS_L - RS_S) \left(E - \frac{qE^2}{r} \right) - cE \quad (5.6)$$

Videre må det inkluderes en faktor z , som forteller om sannsynligheten for at smitte skal skje. Den vil være basert på avstanden mellom oppdrettsanleggene og vil være forskjellig for lus og sykdom. Derfor brukes z_L som sannsynligheten for at smitte fra lus skal skje, og z_S som sannsynligheten for at sykdomssmitte skal skje. Dette settes inn i 5.6 og gir:

$$\pi = p_f q (K_0 - Q S_L z_L - R S_S z_S) \left(E - \frac{q E^2}{r} \right) - c E \quad (5.7)$$

I tillegg i denne oppgaven er kostnadene estimert på samme måte som inntekter, det vil si, de er basert på inntekt per kilo laks og utgift per kilo laks. Fra modell K er kostnadene lagt inn som en total kostnad og derfor modifiseres ligning 5.7 for å lettere kunne få en bedre kostnadsestimering. Fordi kostnaden er per kilo vil dette leddet også være avhengig av produksjonsvolum og effekten av negative eksternaliteter. Dette gir:

$$\pi = p_f q (K_0 - Q S_L z_L - R S_S z_S) \left(E - \frac{q E^2}{r} \right) - c E (K_0 - Q S_L z_L - R S_S z_S) \quad (5.8)$$

Videre tas det hensyn til at et oppdrettsanlegg kan oppleve effekter av negative eksternaliteter fra flere oppdrettsanlegg på samme tid, som gir:

$$\begin{aligned} \pi = p_f q \left(K_0 - \sum_{i=1}^n Q_i S_{L,i} z_{L,i} - \sum_{i=1}^n R_i S_{S,i} z_{S,i} \right) \left(E - \frac{q E^2}{r} \right) \\ - c E \left(K_0 - \sum_{i=1}^n Q_i S_{L,i} z_{L,i} - \sum_{i=1}^n R_i S_{S,i} z_{S,i} \right) \end{aligned} \quad (5.9)$$

Ligning 5.9 kan forenkles siden både kostnadene og inntektene som er estimert er basert per kilo. Dermed vil en nedgang i produksjon på grunn av negative eksternaliteter være tilstede i begge ledd og faktoren kan flyttes utfor og ligningen ser da slik ut:

$$\pi = \left(K_0 - \sum_{i=1}^n Q_i S_{L,i} z_{L,i} - \sum_{i=1}^n R_i S_{S,i} z_{S,i} \right) \left[p_f q \left(E - \frac{q E^2}{r} \right) - c E \right] \quad (5.10)$$

Denne formelen brukes for videre utregning av resultater i kapittel 6.

5.1. Estimering av variabler

Oppgaven har som fokus å etablere hvordan de negative eksternalitetene påvirker profittmarginene til oppdrettere. For å få et bilde som vil være så likt virkelighet som mulig, gjøres det estimeringer av de aktuelle variablene basert på statistikk og historiske data. Noen antagelser og forenklinger må gjøres grunnet mangel på relevant data.

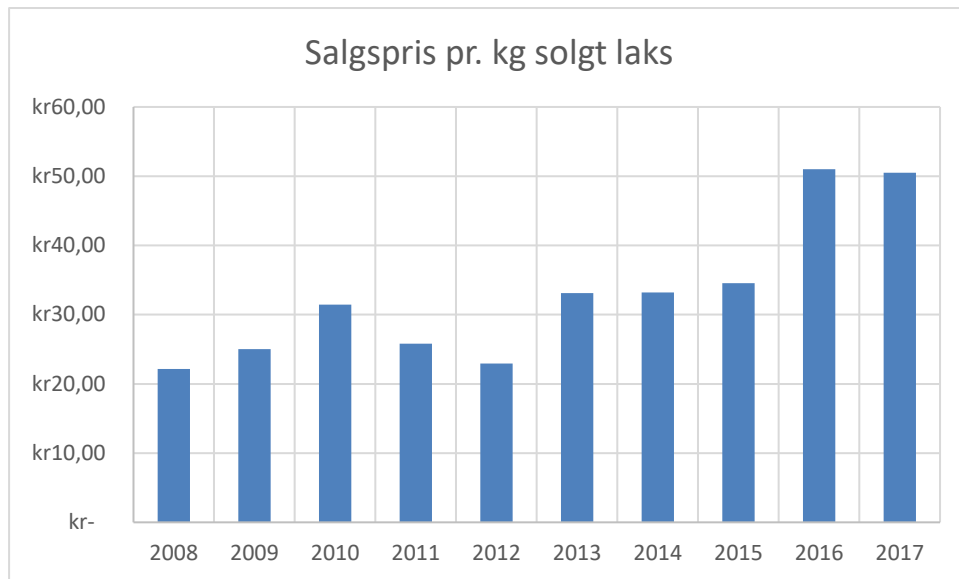
5.1.1. Estimering av pris, p_f

Figur 22 viser eksportprisen av fersk laks for 2018, basert på tall fra SSB (SSB, 2019). Den laveste prisen i perioden var 52,99 NOK/kg og den høyeste var 76,09 NOK/kg. Dette gir en gjennomsnittspris på 61,36 NOK/kg for fersk laks for 2018.



Figur 22: Eksport av fersk laks etter uke for 2018, kilopris (NOK) (SSB, 2019)

Sammenlignet med historiske tall er dette nokså høyt. Tall fra fiskedirektoratet illustrert i Figur 23 for tidsrommet 2008-2017 og viser at prisen på laks har gått betraktelig opp i de senere årene. For denne perioden har salgsprisen økt med nesten 228%. Med så stor variasjon i priser er det vrient å få en gjennomsnittspris som godt representerer prisutvikling over mange år. Derfor tas det utgangspunkt i tallene fra SSB, med en gjennomsnittspris på 61,09 NOK/kg i utregningene videre i oppgaven.



Figur 23: Beregnet salgspris pr. kilo solgte laks (Fiskeridirektoratet, 2018)

5.1.2. Estimering av produksjonsvolum, K_0

Som nevnt i kapittel 2.3.1 er vanlig MTB på 780 tonn. Når beregningene gjennomføres antas det at det blir gjort to innhøstinger per år, en om våren og en om høsten. Det vil gi en total bærekapasitet, K_0 , på 1 560 tonn.

5.1.3. Estimering av fangstrate, q , og fiskeinnsats, E

Fangstraten forklarer hvor effektiv fangsten er. I en merd hvor all smolten som har blitt satt ut vokser til å bli slakteklar laks, uten tap, vil q settes til 1. Variabelen kan estimeres ved å finne den mengden produsert laks som ikke blir solgt, basert på tall fra Fiskeridirektoratet (Fiskeridirektoratet, 2018). Gjennomsnittlig mengde produsert laks per selskap i årene 2013-2017 har vært 10 768 700 kg laks og den solgte mengden laks har vært 9 956 853 kg. Dette gir en forskjell på 7,54 % som gir en fangstrate på 0,9246.

Estimeringen av fiskeinnsats blir forenklet for bruk i modellen. Modell K baserer seg på hvordan negative eksternaliteter fra et oppdrettsanlegg påvirker fiskeri i det samme området, mens oppgaven fokuserer på hvordan negative eksternaliteter fra et oppdrettsanlegg påvirker andre oppdrettsanlegg. For å estimere fiskeinnsats ved bruk i modell K må en ta hensyn til fiskeutstyr, antall båter, areal av fiskeområder, bruk av mannskap o.l. For å estimere

fiskeinnsats til bruk i denne oppgaven antas det at all fisken som er tilgjengelig i en merd blir produsert med enkelhet som gir en fiskeinnsats lik 1.

5.1.4. Estimering av den naturlige vekstraten, r

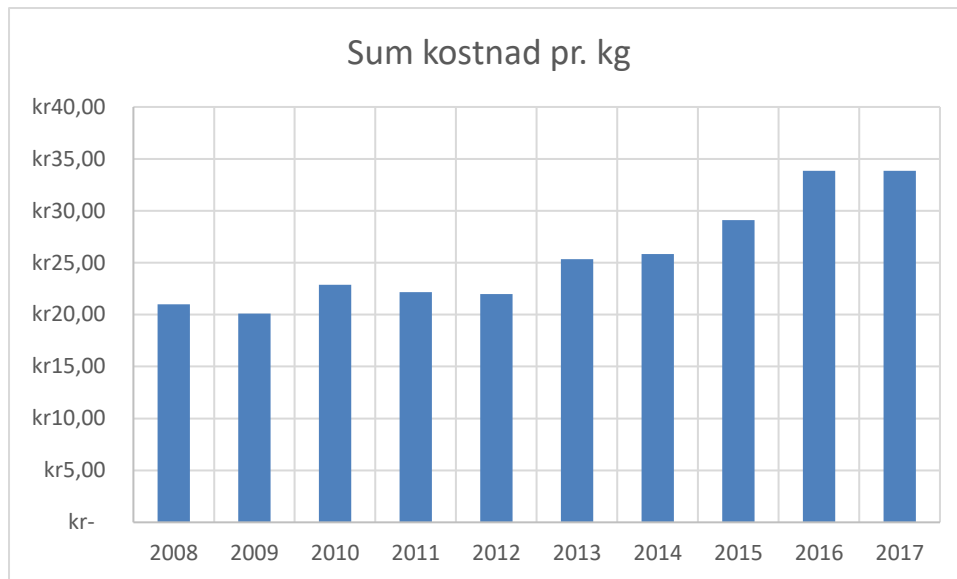
I modell K representerer r den naturlige vekstraten til laksebestander i det fri. Altså den laksebestanden som blir påført en negativ eksternalitet. Dette kan overføres til en situasjon hvor et oppdrettsanlegg påvirker et annet oppdrettsanlegg. Her vil den laksebestanden som påføres de negative eksternalitetene være et annet oppdrettsanlegg, ikke en fiskebestand i naturen. Derfor vil vekstraten som brukes estimeres til å være basert på den interne vekstraten i oppdrettsanlegget som modelleres. Vekstraten blir ofte brukt i oppdrettsnæringen og tar hensyn på fiskevekt og temperaturen i vannet (Veterinærinstituttet, 2004).

For å gjennomføre beregningen tas det utgangspunkt i en gjennomsnittlig vanntemperatur. Tall fra Lusedata viser at den gjennomsnittlige havtemperaturen i Norge de siste fem årene var 9,2 °C. Det antas videre en smoltvekt på 100 g og en slaktevekt på 5 kg, over en vekstperiode på 15 måneder. Det gir en vekstrate på:

$$r = 1000 * \frac{V_t^{\frac{1}{3}} - V_0^{\frac{1}{3}}}{DGR} = 1000 * \frac{(5000 \text{ g})^{\frac{1}{3}} - (100 \text{ g})^{\frac{1}{3}}}{15 \text{ mnd} * 30 \frac{\text{dager}}{\text{mnd}} * 9.2^{\circ}\text{C}} = 3.01 \quad (6.4)$$

5.1.5. Estimering av kostnad, c_f

Utrekning av kostandene knyttet til havoppdrett er komplisert og består av flere komponenter. Ofte er det mangelfull informasjon knyttet til bekjempelse av lakselus, sykdommer og andre tiltak for reduksjon av risiko. Utrekning av denne kostnaden er utenfor omfanget til denne oppgaven, og derfor vil estimeringen av kostnader i havbruksnæringen basere seg på tall fra Fiskeridirektoratet. Tallene i Figur 24 er hentet fra Fiskedirektoratets rapport «Lønnsomhetsundersøkelse for laks og regnbueørret» (Fiskeridirektoratet, 2018). Dataen er basert på informasjon for hele landet hvert år og gitt for laks som er bløgget og sultet, og gir en oversikt over forskjellige kostnader.



Figur 24: Beregnede kostnader per kilo produsert fisk i perioden 2008-2017 (Fiskeridirektoratet, 2018)

Kostnadene har som salgsprisen økt betraktelig per kilo det siste tiåret. Sett i lyset av stor variasjon i kostnadene vil utregninger videre i oppgaven baseres på kostnaden per kilo produserte fisk for 2017, da kostnaden allerede er basert på gjennomsnittlige tall for innrapporterte selskaper. Dette vil si en kostnad på 33,84 NOK/kg produsert.

5.1.6. Estimering av lusevekst, Q

Fra ligning 4.10 er uttrykket for parasittfaktoren funnet. Som tidligere forklart i kapittel 4.2 er den basert på flere sannsynlighetsfordelinger som ikke er mulig å fremstille fra tilgjengelig data. Hvis disse sannsynlighetsfordelingene eksisterte, ville den beste måten å estimere Q -verdier være ved å bruke Monte Carlo simulering. Av den grunn at dataen ikke eksisterer brukes en tilnærming. Fra ligning 4.10 ser vi at alle faktorene over brøkstreken er for å finne lusens evne til å overleve. Under brøken er faktorene som tilsier at lusen ikke overlever, enten det er gjennom naturlige årsaker eller ikke. Dermed kan Q uttrykkes slik:

$$Q = \frac{\text{Lusens evne til å overlevelse}}{\text{Lusens dødlighet}} \quad (6.5)$$

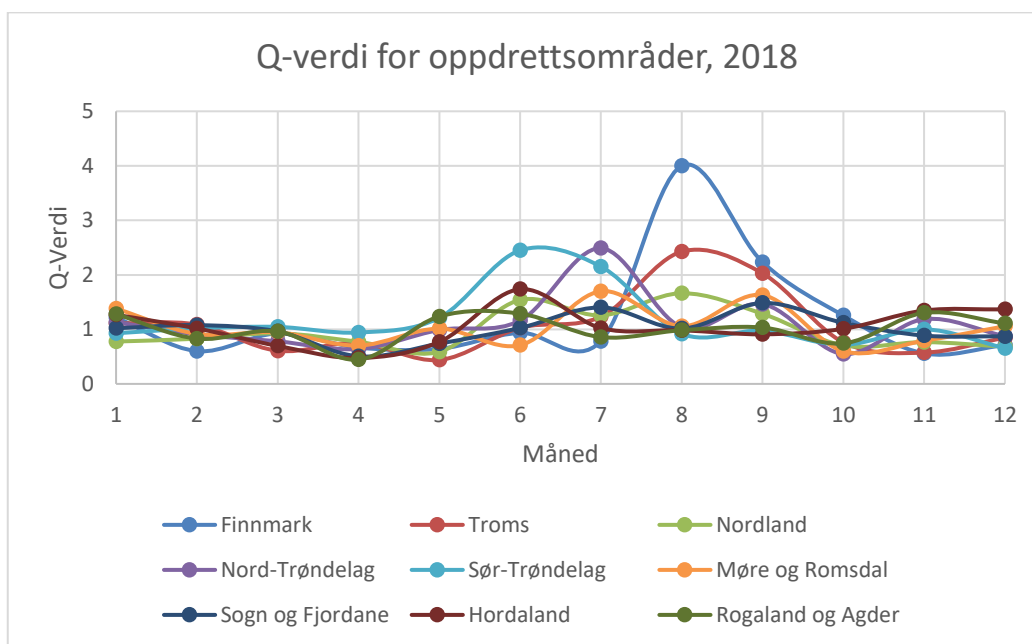
Med denne ligningen er det mulig å estimere Q med statistikk fra Lusedata (Lusedata, 2019). Når det telles lus fra måned til måned kan økningen eller nedgangen i lusetall estimere Q som forklart av formel 6.6:

$$Q = \frac{\text{Antall lus måned } (n + 1)}{\text{Antall lus måned } (n)} \quad (6.6)$$

Dette vil også uttrykke den relative endringen ved en faktor som er enten over, under eller lik 1. Når verdiene er over 1 betyr det at lusene overlever og det er en økning i lusepopulasjonen. En verdi under 1 betyr en nedgang i lusepopulasjonen. Fra Figur 25 under er det mulig å se en representasjon av Q for de ulike oppdrettsområdene for 2018. Q er i første omgang beregnet basert på tall fra Lusedata (Lusedata, 2019) fra 2014 til 2018. Gjennomsnittlige verdier per måned for hele Norge estimeres til 1,21 med et standardavvik på omtrent 0,39. Dette er tall som vil bli brukt i videre utregninger. Gjennomsnittlige verdier kan bli funnet i Tabell 4.

Tabell 4: Oversikt over gjennomsnittlige lusetall per år (månedlige tall er i Appendix A.2) (Lusedata, 2019)

	2014-2018	2014	2015	2016	2017	2018
Gjennomsnitt	1,21	1,60	1,26	1,18	1,05	0,96
Maks	2,38	2,38	1,85	1,42	1,36	1,37
Min	0,48	0,75	0,90	0,83	0,71	0,48
Standard avvik	0,388487339	0,535	0,2899	0,209	0,197	0,268



Figur 25: Grafisk representasjon av Q -verdi for oppdrettsområder, 2018

5.1.7. Estimering av reproduksjonsraten til syk fisk, R

Estimeringen av reproduksjonsraten til fisk som enten er syk, tidligere smittet eller i en lokasjon med smittepress beregnes på lik måte slik som lusefaktoren. Telling av sykdomstilfeller blir ikke utført like ofte som telling av lus, og sykdomstegn manifesterer seg gjerne ved sluttfasen. Sykdomstegn kan også komme til syne ved stressende situasjoner som avlusning og transport (Noble et al., 2018). Datagrunnlaget for estimeringen av reproduksjonsraten er basert på tallene fra Hjeltnes (Hjeltnes et al., 2019) med årlige tall for innrapporterte tilfeller av ulike sykdommer. R blir derfor beregnet som en årlig faktor som beskriver endringen i sykdom fra år til år. R beskriver i realiteten fiskens evne til å overleve delt på fiskens dødelighet på grunn av sykdom:

$$R = \frac{\text{Fiskens evne til å overlevelse}}{\text{Fiskens dødelighet}} \quad (6.7)$$

Når det telles sykdom fra år til år kan økningen eller nedgangen i sykdomstilfeller estimere R som forklart av formel 6.8:

$$R = \frac{\text{Tilfeller av sykdom i fisk år } (n + 1)}{\text{Tilfeller av sykdom i fisk år } (n)} \quad (6.8)$$

Her vil R representere en verdi som er over, under eller lik 1. Når verdiene er over 1 betyr det at fisken har flere sykdomstilfeller i året, og det er en økning i sykdomspress, og en verdi under 1 betyr en nedgang i sykdomstilfeller og sykdomspresset går ned. R er beregnet basert på tall fra 2008 til 2018, hvor gjennomsnittlige verdier per år for hele Norge estimeres til 0,986 med et standardavvik på omtrent 0,39. Oversikt over utregnede R -verdier er gitt i Tabell 5.

Tabell 5: Oversikt over sykdomstall (Hjeltnes et al., 2019) med tilhørende R-verdier per år, fra 2008-2018

	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	2018	Gj.snitt
<i>ILA</i>	17	10	7	1	2	10	10	15	12	14	13	10,09
<i>PD</i>	108	75	88	89	137	99	142	137	138	176	163	122,9
<i>HSMB</i>	144	139	131	162	142	134	181	135	101	93	104	133,3
<i>IPN</i>	158	223	198	154	119	56	48	30	27	23	19	95,91
<i>CMS</i>	66	62	49	74	89	100	107	105	90	100	101	85,73
<i>Totalt</i>	493	509	473	480	489	399	488	422	368	406	400	447,9
<i>R</i>		1,03	0,93	1,01	1,02	0,82	1,22	0,86	0,87	1,1	0,99	0,986

5.1.8. Soneinndeling, z_L og z_S

I denne oppgaven antas det at det er mer sannsynlig at jo nærmere et oppdrettsanlegg er til et annet oppdrettsanlegg som er sykdomsinfisert og/eller preget av lus, vil medføre større smittefare. Til tross for at visse oppdrettsanlegg har topologiske fordeler og ulemper tar vi forbehold til at videre forskning og bedre kunnskap kan være med på å forbedre estimeringene og sannsynlighetene. Som forklart i kapittel 4.5 utføres det forskning på soneinndelinger. Slike soner vil være vanskelige å definere, derfor gjøres det forenklinger i forbindelse med inndelingene i denne oppgaven. Det antas at lus lettere kan spres med vannmassene enn sykdom. Det antas videre at det er to scenarier hvor sykdom kan overføres fra et anlegg til et annet:

1. En smittet fisk rømmer fra anlegget og kommer i kontakt med fisk i et annet anlegg
2. Biologisk avfall (avføring, blod, etc.) fra et anlegg med smittet fisk blir ført med vannstrømmer til et annet anlegg

Det antas at det er en svært liten sannsynlighet for at scenario 1 kommer til å skje. Biologisk avfall vil bli tynnet ut jo lenger det blir spredd, og dermed minker smittefaren. Dette gjør at smittesonen for sykdom er mer begrenset i forhold til lusespredning, der en lus kan produsere flere hundre egg som kan forflyttes over lengre avstander. Lusesonene og sykdomssonene har forskjellige sannsynligheter for smitte basert på avstanden fra den infiserte lokasjonen.

Inndelingen i grønn, gul og rød sone er ikke direkte relatert til konsekvensene av smitteutbrudd eller hvor dødelig en eventuell smitte er, men heller til forskjeller i sannsynlighet for smitte ved økt smittepress. En oversikt over estimeringer av sannsynligheter er gitt i Tabell 6:

Tabell 6: Oversikt over antatte avstander og tilhørende sannsynlighet for smitte

		Lus	Sykdom
<i>Rød sone</i>	Avstand	25 km	12,5 km
	Sannsynlighet	75 %	75 %
<i>Gul sone</i>	Avstand	50 km	25 km
	Sannsynlighet	50 %	50 %
<i>Grønn sone</i>	Avstand	100 km	50 km
	Sannsynlighet	25 %	25 %

6. Resultater

Resultatene i denne oppgaven er basert på konseptmodellen som er utviklet i forrige kapittel. Målet i dette kapitlet er å benytte konseptmodellen for å sette en kostnad på de ulike eksternalitetene og se hvordan de endrer profitten til et oppdrettsanlegg. For å ha et sammenlikningsgrunnlag etableres det to scenarier; perfekt tilstand og basistilstand. Ved perfekt tilstand vil ikke oppdrettsanlegget oppleve noen negative eksternaliteter fra andre oppdrettere. Basistilstanden benytter seg av de estimerte verdiene og gir et anslag på gjennomsnittlig profittreduksjon i industrien i dag. Basistilstand vil ta utgangspunkt i et oppdrettsanlegg som er 30 km unna nærmeste anlegg. Naboanlegget er satt til å ha en luseinfisert bestand lik 30 % av det modellerte anlegget. Tilsvarende 10 % for sykdom. Tabell 7 viser en oversikt over de estimerte verdiene.

Tabell 7: Estimerte verdier for situasjoner uten og med hensyn på negative eksternaliteter

	Perfekt tilstand	Basistilstand
p_f	61,09 NOK/kg	61,09 NOK/kg
q	0,9246	0,9246
K_0	1 560 tonn	1 560 tonn
Q	0	1.21
S_L	0	30 %
z_L	0	50 % (30 km)
R	0	1.21
S_S	0	10 %
z_S	0	25 % (30 km)
E	1	1
r	3.01	3.01
c	33,84 NOK/kg	33,84 NOK/kg

6.1. Basistilstand

For å kunne se på effekten av de forskjellige variablene må det etableres et utgangspunkt. Gjennomsnittsverdiene som ble funnet i kapittel 5 vil bli benyttet. samt den bioøkonomiske modellen:

$$\pi = \left(K_0 - \sum_{i=1}^n Q_i S_{L,i} Z_{L,i} - \sum_{i=1}^n R_i S_{S,i} Z_{S,i} \right) \left[p_f q \left(E - \frac{qE^2}{r} \right) - cE \right] \quad (5.10)$$

Ved å sette inn de estimerte verdiene inn i modellen, ser uttrykket slik ut:

$$\pi = (2 * 780 * 10^3 - 1,21 * 5\% * 2 * 780 * 10^3 * 0,5 - 0,986 * 1\% * 2 * 780 * 10^3 * 0,25) * (61,09 \frac{NOK}{kg} * 0,9246 \left(1 - \frac{0,9246 * 1}{3,01} \right) - 33,84 \frac{NOK}{kg} * 1) \quad (6.1)$$

Som gir en årlig profitt på:

$$\pi_B = 6\,556\,539 \text{ NOK}$$

6.2. Perfekte tilstander

Når profitten er beregnet ved påvirkning av negative eksternaliteter fra et oppdrettsanlegg er det viktig å ha en situasjon som det kan sammenlignes med. Ved hypotetiske optimale tilstander vil ikke oppdrettere bli påvirket av negative eksternaliteter. Derfor blir det brukt en simulering ved et tilfelle hvor anlegget ikke vil være påvirket av hverken lus eller sykdom fra et annet anlegg. Det vil si at antallet produsert laks vil være lik den maksimale bærekapasiteten til anlegget. Det vil kunne gi et bilde av hvor mye et anlegg potensielt kan oppnå i profitt uten negative effekter av lus eller sykdomssmitte fra et annet nærliggende anlegg.

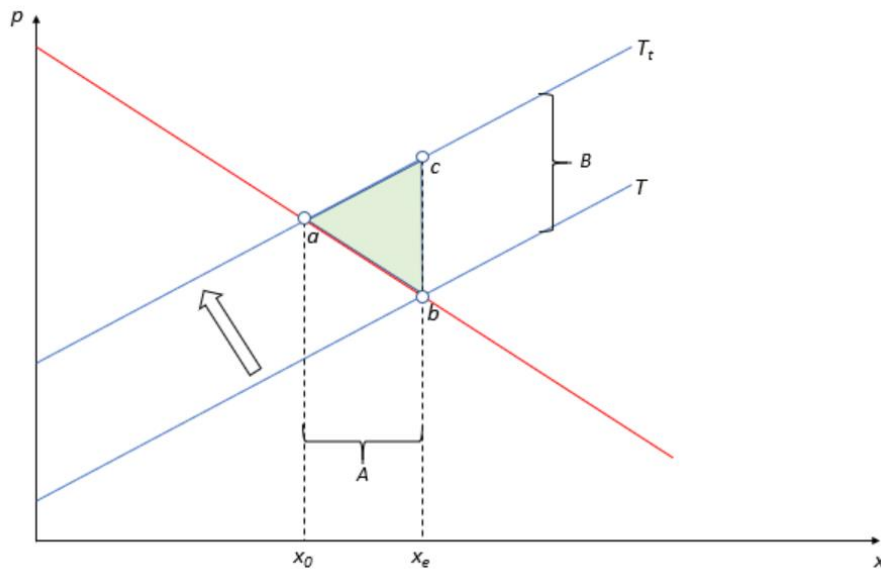
Den totale profitten i et oppdrettsanlegg uten noen negative eksternaliteter fra andre anlegg utregnes på samme måte som i kapittel 6.1, og gir:

$$\pi_{PT} = (2 * 780 * 10^6 - 0 - 0) * \left(61,09 \frac{NOK}{kg} * 0,9246 \left(1 - \frac{0,9246 * 1}{3,01} \right) - 33,84 \frac{NOK}{kg} * 1 \right) \quad (6.2)$$

Tilslutt gir dette en årlig profitt på:

$$\pi_{PT} = 8\,257\,606 \text{ NOK}$$

Sammenlignet med situasjonen hvor negative eksternaliteter tas hensyn til, medfører det i dette tilfellet at negative eksternaliteter gir en årlig profittreduksjon på 20,6 %.



Figur 26: Forskyvning av tilbudskurven ved internalisering av eksternaliteter

Figur 26 viser hvordan tilbudskurven T vil forskyves når en oppdretter internaliserer de negative eksternalitetene. Linje T representere tilbudskurven ved basistilstanden, og T_T representerer perfekte tilstander. En kan se at den optimale produksjonen, x_0 er mindre enn likevektsproduksjonen x_e . En slik forskyvning vil øke effektiviteten i markedet og skape en produksjon som er nærmere det sosiale optimum.

6.2.1. Grensekostnad for perfekte tilstander

Det er mulig å anta at investeringer i ny teknologi vil øke kostnadene per kilo produserte laks. Til tross for dette kan det fortsatt være lønnsomt å benytte seg av teknologien, så lenge summen av de økte produksjonskostnadene ikke overstiger det potensielle tapet fra de negative eksternalitetene. Det vil si, hvis den potensielle profittreduksjonen heller blir brukt på å drifte ny teknologi som fjerner de negative eksternalitetene vil dette være lønnsomt så lenge produksjonskostnadene holdes under grensekostnaden, c_g . Det er ønskelig å bruke modellen til å finne ut hva denne grensekostnaden vil være. En omformulering av ligning 5.10 gir:

$$c_g = \frac{p_f q \left(E - \frac{qE^2}{r} \right) - \frac{\pi}{(K_0 - QS_L z_L - RS_S z_S)}}{E}$$

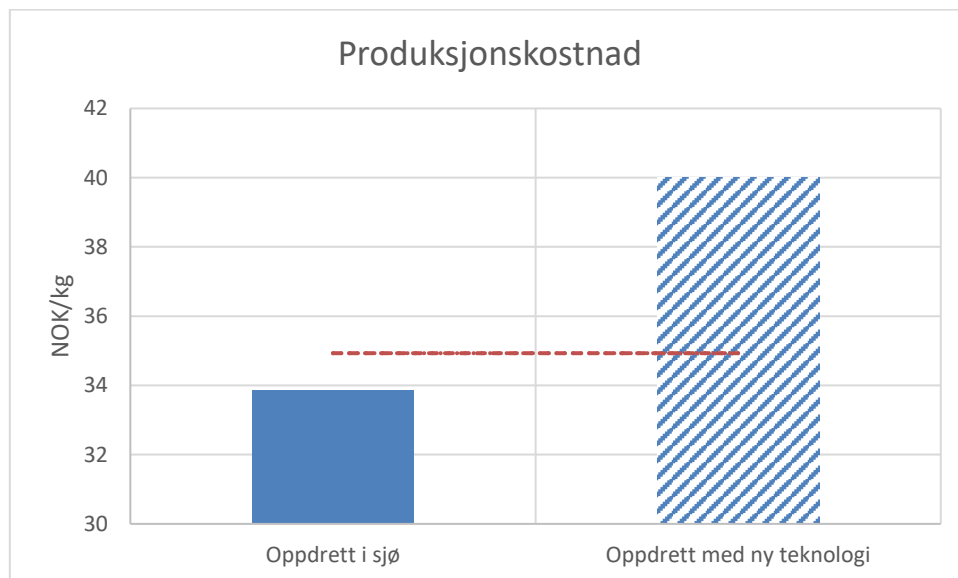
Det antas videre at den nye teknologien vil fjerne de negative eksternalitetene helt:

$$QS_L z_L = RS_S z_S = 0$$

Som igjen gir:

$$c_g = \frac{p_f q \left(E - \frac{qE^2}{r} \right) - \frac{\pi}{K_0}}{E} = 34,93 \frac{NOK}{kg}$$

Dette betyr at er oppdrettsanlegg med perfekte tilstander grunnet ny teknologi, vil ha en profitt på 6 556 539 NOK, tilsvarende profitten ved basistilstand. Det er viktig å merke seg at det her er sett bort fra investeringskostnader knyttet til nye teknologier. Produksjonskostnaden har en økning på 3,22 %. Altså må produksjonskostnadene ved bruk av den nye teknologien ikke overstige 34,93 NOK/kg for at det skal være lønnsomt å benytte seg av den. Figur 27 illustrerer hvordan driftskostnader med ny teknologi må være mindre enn grenseverdien for å være lønnsomt basert på modellen og estimeringene brukt i denne oppgaven.

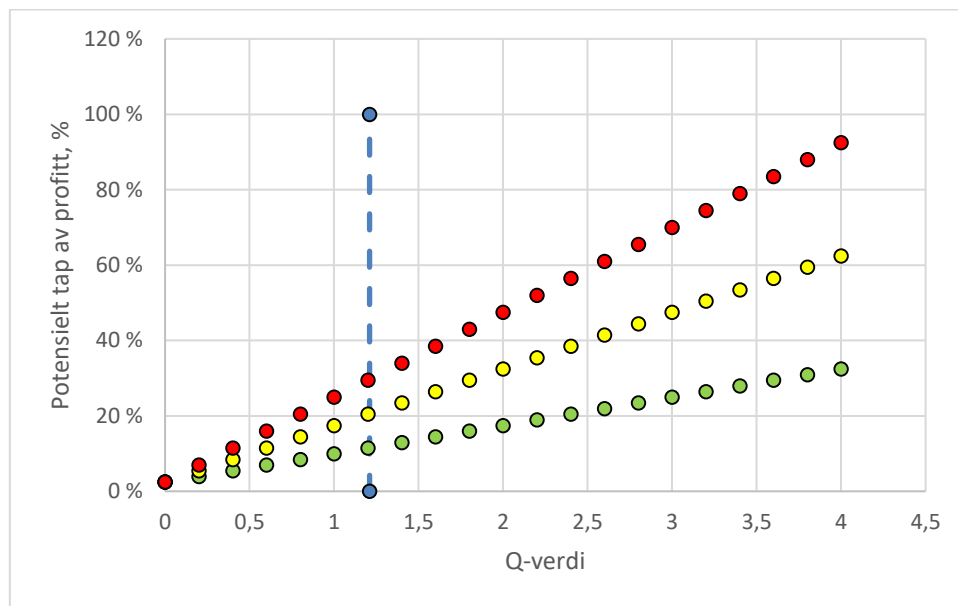


Figur 27: Sammenligning mellom produksjonskostnad i dag og grensekostnad

6.3. Endring i lusevekst, Q

Dette underkapittelet tar for seg et tilfelle der et anlegg i nærheten har opplevd en økning i luserate per fisk. Fra Tabell 4 og Figur 25 ser man at det er store variasjoner, både sesongmessig og basert på hvilken region anlegget er i. De laveste gjennomsnittlige tallene som ble observert per år var 0,48 og de høyeste var 2,38.

Utregningene er basert på et tilfelle hvor oppdrettsanlegget er lokalisert i gul sone, hvor nærmeste naboanlegg er 30 km unna. Sonen som er variert på i Figur 28 er lusesonen, z_L .



Figur 28: Potensielt tap av profitt ved variasjoner i lusevekst

Det første som kan observeres fra Figur 28 er de tre ulike linjene som representerer hver sin smittesone for lus. Ved å variere verdiene i Q kan en observere de ulike utslagene i form av redusert profitt i de ulike sonene. Den blå vertikale linjen representerer gjennomsnittsverdien estimert i kapittel 5.1.6, som er 1,21. Fra modellert tilstand i situasjon 1 er lokasjonen plassert i gul sone, som gir profittreduksjonen gitt i 6.1. Hvis en antar at dette er gjennomsnittsverdier for hele landet, vil de prosentvise profittreduksjonene representere tapet på nasjonalt nivå og næringen som helhet.

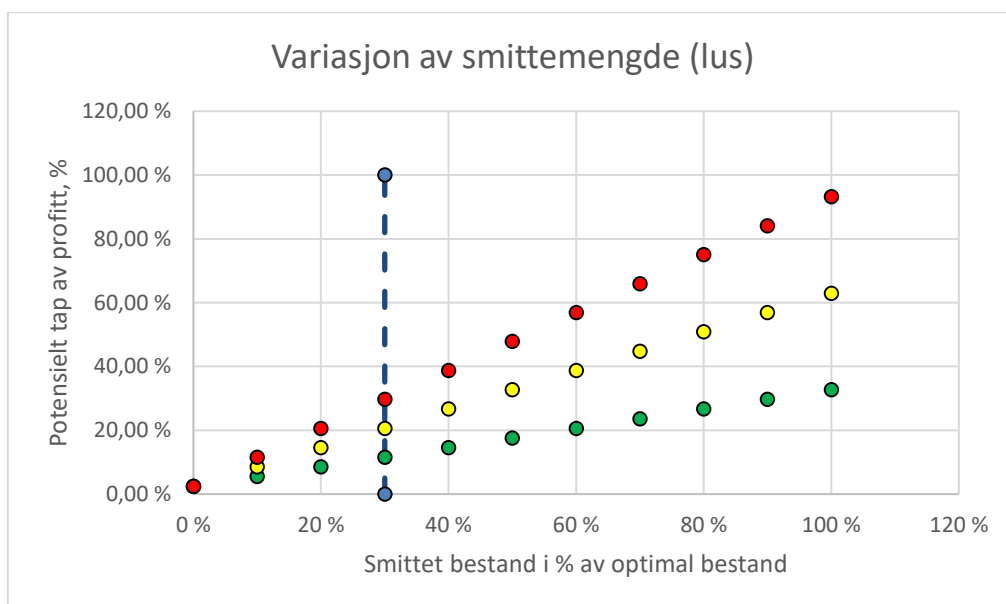
Fra basistilstanden er anlegget plassert i gul sone, som gir et tap i profitt på 20,6 % i forhold til perfekte tilstander. Hvis oppdrettsanlegget er lokalisert i en rød sone betyr det at det er større sannsynlighet for at lus spres til det modellerte anlegget. Hvis alle andre variabler holdes konstante, men z_L øker til 75 % utgjør det en profittreduksjon på 29,5 % i forhold til perfekte tilstander. Hvis oppdrettsanlegget er lokalisert i grønn sone (25 %) og alle variabler

holdes konstante, estimeres profittreduksjonen til å være 11,5 % i forhold til perfekte tilstander.

I kapittel 5.1.6 ble det observert at den månedlige relative endringen i lusevekst kan potensielt være så høyt som 4. Ved slike ekstreme tilfeller har vi fra Figur 28 at for et oppdrettsanlegg som er lokalisert i rød sone kan det potensielt gi et tap i profitt på opp til 92 %. Ytterligere, for et oppdrettsanlegg som er lokalisert i gul sone kan det gi redusert profitt opp til 62 %, og for grønn sone opp til 32 %.

6.4. Endring i antall parasittsmittede fisk, S_L

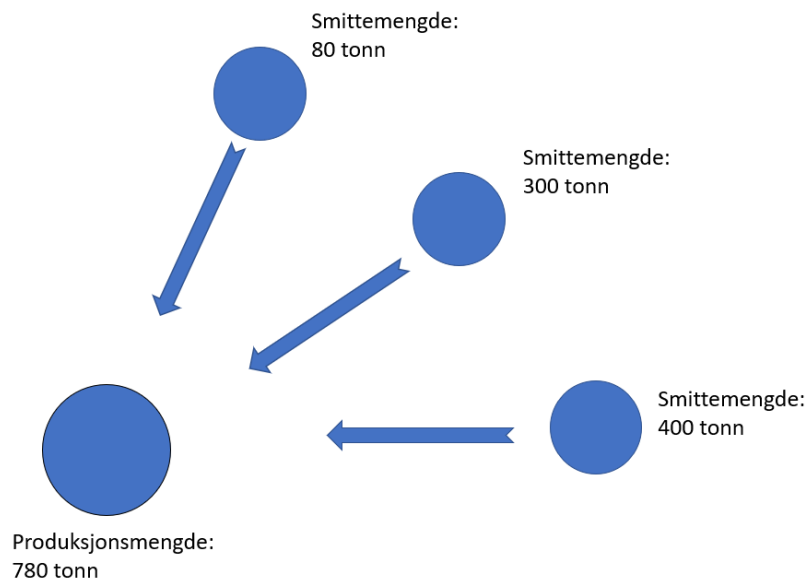
Dette underkapittelet tar for seg et tilfelle der antallet laks med lus har økt i et nærliggende anlegg. Når det er flere kjønnsmodne lus per fisk vil det si at det blir produsert flere egg, og smittepresset i sonene vil øke. Meningen er å finne ut hvor stor påvirkning på tapet i profitt en slik økning kan ha.



Figur 29: Potensielt tap av profitt ved variasjoner i smittede bestand ved ulike soner

Fra Figur 29 kan man observere hvordan profitten i et anlegg reduseres på grunn av en økning i lus, basert på hvilken smittesone de ligger i. Her ser man at selv i en sone med lav smittefare kan oppdretteren risikere å miste store deler av profitten om nok laks har fått lus i et naboanlegg. Det er viktig å merke seg at x-aksen representerer summen av mengden laks med lus i andre oppdrettsanlegg som en prosent av egen produksjonsmengde. Figur 30 illustrerer

hvordan en situasjon hvor summen infisert fisk fra nærliggende oppdrett utgjør 100% av egen produksjonskapasitet.

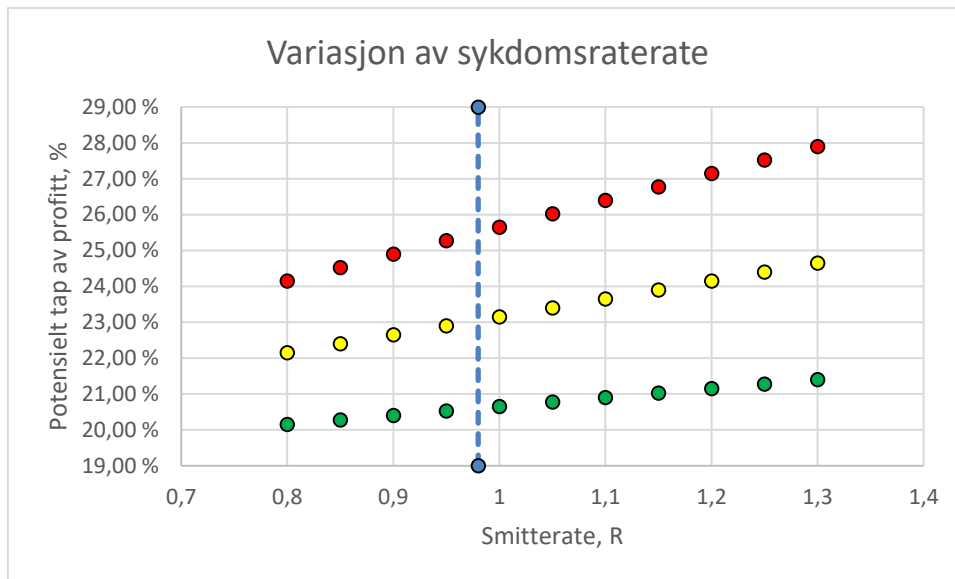


Figur 30: Eksempel på situasjon hvor smittet bestand utgjør 100 % av egen produksjon

I situasjoner hvor oppdrettsanlegget er lokalisert i rød sone, og alle andre variabler holdes konstante, er den estimerte reduksjonen i profitt regnet til å være mellom 2 % og 93,2 %. Hvis anlegget er lokalisert i gul sone, og alle andre variabler holdes konstante, er den estimerte reduksjonen i profitt regnet til å være mellom 2 % og 63,0 %. Hvis anlegget er lokalisert i grønn sone, og alle andre variabler holdes konstante, er den estimerte reduksjonen i profitt regnet til å være mellom 2 % og 32,7 %.

6.5. Endring i reproduksjonsrate, R

Dette tilfellet tar for seg en økning i smitteraten for sykdom blant laks i et nærliggende oppdrettsanlegg. En slik økning vil gjerne være på grunn av en spesielt aggressiv sykdom eller feilmedisinering, som igjen vil føre til økt smittepress i sonene rundt det smittede anlegget.



Figur 31: Potensielt tap av profitt ved variasjoner i smitterate

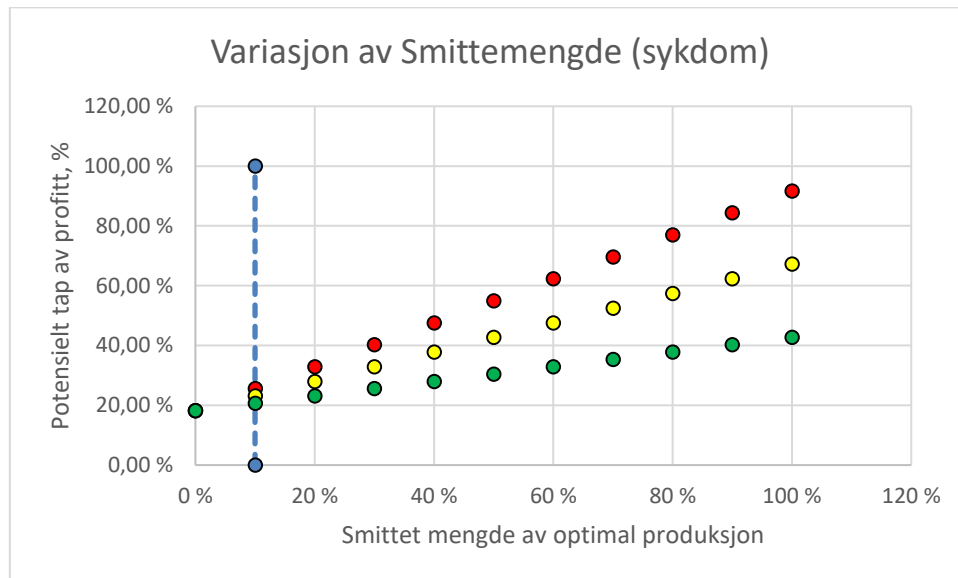
Det første som kan observeres fra Figur 31 er de tre ulike linjene som representerer hver sin smittesone for sykdom. Ved å variere verdiene i R kan en observere de ulike utslagene i form av redusert profitt i de ulike sonene. Den blå vertikale linjen representerer gjennomsnittsverdien estimert i kapittel 5.1.7, som er 0,98.

Fra basistilstanden er anlegget plassert i grønn sykdomssone, som gir et tap i profitt på 20,6 % i forhold til perfekte tilstander. Hvis oppdrettsanlegget er lokalisert i en rød sone betyr det at det er større sannsynlighet for at sykdom spres til det modellerte anlegget. Hvis alle andre variabler holdes konstante, men z_S øker til 75 % utgjør det en profittreduksjon på 25,5 % i forhold til perfekte tilstander. Hvis oppdrettsanlegget er lokalisert i gul sone (50 %) og alle variabler holdes konstante, estimeres profittreduksjonen til å være 23,1 % i forhold til perfekte tilstander.

I kapittel 5.1.7 ble det observert at den årlige relative endringen i R kan potensielt være så høyt som 1,22. Ved slike tilfeller har vi fra Figur 31 at for et oppdrettsanlegg som er lokalisert i rød sone kan det potensielt gi et tap i profitt på opptil 27,3 %. For et oppdrettsanlegg som er lokalisert i gul sone kan det gi redusert profitt opp til 24,4 %, og for grønn sone opp til 21,2 %.

6.6. Endring i antall sykdomssmittede individer, S_s

Dette tilfellet tar for seg et scenario hvor antall sykdomssmittede laks i et nærliggende oppdrettsanlegg øker. Flere syke laks vil bety større smittepress i smittesonene på grunn av mer biologisk av fall og til dels større fare for kontakt med smittet laks.



Figur 32: Potensielt tap av profitt ved variasjoner i bestanden som er smittet av sykdom

Fra Figur 32 kan man observere hvordan profitten i et anlegg reduseres på grunn av en økning i sykdomssmittede individer, basert på hvilken smittesone de ligger i. Ved 0 % sykdomssmittede individer viser figuren fortsatt en profittreduksjon på 18,2 %. Grunnen til dette er at det er kun mengde sykdomssmittede individer og sykdomssonen som varieres. Mengden lusesmitte holdes konstant lik basistilstanden, som alene gir en profittreduksjon på 18,2 %. X-aksen er definert på samme måte som i kapittel 6.4.

Fra basistilstanden er anlegget plassert i grønn sykdomssone, som gir et tap i profitt på 20,6 % i forhold til perfekte tilstander. I situasjoner hvor oppdrettsanlegget er lokalisert i rød sone, og alle andre variabler holdes konstante, er den estimerte reduksjonen i profitt regnet til å være mellom 18,2 % og 91,7 %. Hvis anlegget er lokalisert i gul sone, og alle andre variabler holdes konstante, er den estimerte reduksjonen i profitt regnet til å være mellom 18,2 % og 67,2 %. Hvis anlegget er lokalisert i grønn sone, og alle andre variabler holdes konstante, er den estimerte reduksjonen i profitt regnet til å være mellom 18,2 % og 42,7 %.

7. Diskusjon

De gjennomsnittlige verdiene som er estimert i kapittel 5 ble brukt i kapittel 6 for å gi et utgangspunkt for å estimere gjennomsnittlig prosent profittreduksjon i lakseoppdrett over hele Norge. Differansen mellom basistilstand og en perfekt tilstand modelleres til å være på 20,6 %. I 2017 var verdiskapningen fra lakseoppdrett på 61,6 milliarder NOK (SSB, 2018b). Dette betyr at næringen i dag potensielt kan gå glipp av en profitt på nesten 12,7 milliarder NOK grunnet påvirkning fra lus og sykdom fra naboanlegg. Tallene virker å være betydelige, og det er tydelig at det trengs å finne gode løsninger som kan forhindre tapene som oppdretterne opplever i dag.

Fra resultatene i kapittel 6 observeres det at den potensielle profittreduksjonen på grunn av spredning av lus er på henholdsvis 11,5 %, 20,6 % og 29,7 % for grønn, gul og rød lusesone. I tillegg observeres det at den potensielle profittreduksjonen på grunn av spredning av sykdom er på henholdsvis 20,6 %, 23,0 % og 25,5 % for grønn, gul og rød sykdomssone. Det er tydelig at det er størst variasjon i profittreduksjonen relatert til spredning av lus, som gir både minste og høyeste utslag. Basert på resultatene fra oppgaven kan de modellerte negative eksternalitetene utgjøre et tap i profitt mellom 7,08 og 18,3 milliarder NOK, basert på verdiskapningen i 2017.

7.1. Scenario med ny teknologi

Som forklart i kapittel 1.1 har den norske oppdrettsnæringen økt for hvert år, med unntak i de siste tre årene. Dette tydeliggjør behovet for optimalisert drift og forbedret teknologi. Økt produksjon fører ofte med seg økte kostnader og dermed vil et potensielt tap av oppdrett kunne påvirke de enkelte oppdretterne i stor grad. Resultatene viser at samhandling mellom oppdrettere er en av grunnpilarene som må til for å kunne utvikle gode forbehold mot negative eksternaliteter.

Tidligere i oppgaven er det beskrevet hvordan ny teknologi og løsninger som offshore-anlegg, landbaserte anlegg og teknologi for lusebekjempelse kan bidra til å redusere de negative eksternalitetene. Som Kalager og Hellen tar opp i sin masteroppgave (Kalager & Hellen, 2018) er det ofte skjulte kostnader i forhold til bekjempelse av lakselus som ofte ikke kommer med i regnskapet. For å kunne ta avgjørelser på implementeringen av slike løsninger er det viktig å kunne tallfeste den faktiske kostnaden knyttet til de negative eksternalitetene. Som

belyst i denne oppgaven er det en sammenheng mellom mengden smitte i et område og graden av smittepress som oppleves. Ofte kan det være en kombinasjon av smitte fra flere oppdrettere samtidig som utgjør det faktiske smittepresset som oppstår.

Teknologien som brukes mot smittespredning må gjerne brukes tidlig hvis observerte forhold ikke kan aksepteres. Fra forskningsprosjektet til FHF (FHF, 2018) kunne en observere påviste tilfeller av sykdom, selv år etter at utbruddet skjedde. Dette betyr at selv om en oppdretter isolert sett kan beskytte sin egen oppdrett for sykdom og lus, kan det allikevel være smitte som blir ført med vannstrømmene til anlegg lokalisert nedstrøms. Dette påviser også at kommunikasjon mellom oppdrettere og myndigheter må være en prioritering. Det vil være med å sikre best utnyttelse av ny teknologi og ressurser for å kunne bekjempe lus og sykdom ved såkalte nøkkellokasjoner.

Landbaserte oppdrettsanlegg er en type teknologi som ofte kan sees i nyhetsbildet og er svært relevant for fremtidig utvikling av næringen. Slike anlegg vil ikke oppleve eksternaliteter på samme måte som vanlige oppdrettsanlegg. Denne typen teknologi vil fjerne vannkontakten mellom oppdrettsanleggene fullstendig og oppdretterne vil ha mye større kontroll over faktorene som påvirker laksen. I dag er større deler av produksjonen på land enn tidligere grunnet RAS-teknologi. Selv om utvikling av landbasert teknologi er kostbart kan det hende at det i fremtiden vil være gunstig grunnet større kontroll over fiksevelferd og fiskehelse.

Fra modellen som har blitt utviklet i oppgaven observeres det at avstand og vannkontakt med nærliggende oppdrettsanlegg er av stor betydning. Offshore-anlegg vil redusere sannsynligheten (z_L , z_S) for smitte ved at det er større avstand mellom oppdrettsanleggene, som vil føre til en reduksjon i påvirkningen fra de negative eksternalitetene. Det kan bidra til at reduksjonen i profitt ikke blir så stor. Samtidig er det viktig å påpeke at havstrømmene kan fortsette lenger ut i havet og vannkontakt mellom anlegg kan fortsatt skje. Bedre vannstrømningsmodeller kreves for å kunne få en full forståelse for dette, og nærmere undersøkelser av strømninger og biologiske faktorer må til.

7.1.1. Grensekostnad

Sett fra oppgavens perspektiv vil det være en grensekostnad per kilo laks som vil avgjøre om det er lønnsomt å implementere en ny type teknologi som reduserer effekten av de negative eksternalitetene. Basert på sammenligningen mellom basistilstand og perfekt tilstand, er det

funnet en grenseverdi som vil gi økt nytte i forhold til kostnad. Forskjellen mellom de to tilstandene er 20,6 %. Teknologi som øker kostnadene tilsvarende denne differansen eller mindre og samtidig fjerner negative eksternaliteter, vil være verdt å implementere.

Denne grensekostnaden ble i kapittel 6.2 funnet til å være 34,93 NOK/kg. Det er viktig å påpeke at denne kostnaden ikke tar hensyn til investeringskostnader for nye typer teknologi, kun produksjonskostnader per kilo. I kapittel 3.5.1 ble en analyse av Deloitte framlagt hvor de fastslo at kostnadene ved oppdrett på land og i sjø er nesten identiske. Om dette faktisk stemmer og produksjonskostnadene holdes under grensekostnaden, vil det være gunstig å etablere oppdrett på land for å forhindre negative eksternaliteter fra andre oppdrettere.

7.2. Scenario med endringer i reguleringer

7.2.1. Endringer i skattepolitikk

Ny insentivordning for skattelegging av oppdrettsanlegg er noe som ser ut til å bli en realitet i nærmeste fremtid. Regjeringens forslag om kommunale insentiver blir lagt frem i november 2019 (Regjeringen, 2018b). Hvis det blir vedtatt at dette skal bli innført som planlagt, vil kommunene selv i større grad styre næringen slik at fortjenesten kommer lokalbefolkningen til gode. Dette kan være med å styrke oppdrettsnæringen samt øke antall lokale arbeidsplasser langs kysten, som igjen kan være med på styrke fortjenesten næringen har i dag.

Nedsiden med en slik ordning er at det gir kommunene insentiv for å kunne opprette flere oppdrettsanlegg i en økende tetthet enn det som eksisterer i dag. Resultatene i denne oppgaven viser at en høyere tetthet mellom anleggene også vil føre til økt smittepress, selv om noen topologiske forhold kan forhindre dette. Inndeling av soner og god kommunikasjon mellom kommunene vil være svært viktig i tilfeller hvor anlegg i en kommune kan ha vannkontakt med anlegg i kommunen ved siden av. Dette gjør at nabokommunene må være forberedt på potensiale for økte negative eksternaliteter.

7.2.2. Endringer i MTB

Endringer i MTB vil i stor grad påvirke effekten av negative eksternaliteter. I tilfeller hvor MTB øker, enten det er gjennom større produksjonsområder eller høyere tetthet i merdene, vil det direkte påvirke tre faktorer i modellen. K_0 vil bli større, som betyr at profitten til hvert enkelt oppdrettsanlegg øker. S_L og S_S vil kunne ha potensiale for økning hvis MTB øker. Dette

er fordi en høyere produksjon i et anlegg vil øke tettheten, som gjør at et utbrudd av smitte raskt kan spre seg til flere fisk i anlegget. En økning i disse faktorene vil føre til at effekten av de negative eksternaliteter blir større, som igjen vil føre til økt potensiale for reduksjon i profitt.

En nedgang i MTB vil oppleves motsatt. Dette vil direkte påvirke mengden som oppdretteren kan selge, samtidig som det kan redusere påvirkningen fra negative eksternaliteter. En nedgang i MTB vil minke potensialet for mengden smittet fisk i et område og smitten som kan føres med vannstrømmer til andre anlegg. Villfiskbestander kan også oppleve redusert smittepress. En slik reduksjon skal på lang sikt være med på å kunne sikre stabil drift i oppdrettsnæringen. Om et område blir markert som rødt gjennom trafikkløssystemet skal dette fungere som en indikasjon på at driften ikke er optimal og situasjonen må forbedres. Det vil si, en reduksjon i MTB vil på kort sikt medføre redusert inntjening for oppdretteren, men på lang sikt medføre sikker og bærekraftig drift som opprettholder norske standarder.

7.3. Innbetalingsmodell for å dekke tapt profitt

I dette delkapittelet ønskes det å se på en alternativ løsning for å dekke de potensielle kostnadene knyttet til de negative eksternalitetene. En måte oppdrettere kan internalisere de negative eksternalitetene er ved å betale inn et årlig depositum til en felles pott for produksjonsområdet. Konseptmodellen kan brukes til å regne ut hvor stort tapet i profitt en oppdretter har opplevd grunnet lus og sykdomsutbrudd fra nærliggende anlegg, og vil kunne få dette dekt gjennom utbetalinger fra potten. De oppdretterne som er kilde til de negative eksternalitetene og som ikke har klart å kontrollere dette vil få en redusert utbetaling fra potten. Denne reduksjonen vil være tilsvarende tapet i profitt hos anleggene som er påvirket av nøkkellokasjonen. Det vil skyve produksjonskostnadene, og tilbudskurven, hos nøkkellokasjonen oppover.

Dette vil være en mer rettferdig måte å dekke eksternalitetene på enn en avgift/skattelegging. I et slikt tilfelle vil alle oppdretterne bli «straffet» likt, selv de som har vært flinke til å bekjempe lus og sykdom. Hvis en oppdretter år etter år går glipp av utbetalinger, kan det tyde på at de gjør oppdrett på en dårlig lokalitet. Det kan være med på å styrke beslutningsgrunnlaget for å øke investeringer i ny teknologi, som landbaserte anlegg og offshore-anlegg.

Figur 33 er en illustrasjon på en tenkt situasjon hvor en nøkkellokasjon har vannkontakt med flere andre oppdrettsanlegg. De ligger i samme produksjonsområde og vil betale inn den samme årlige summen til fellespotten. Hvis oppdretteren i den røde sirkelen får mye lus, vil det være en sannsynlighet for at oppdretterne i den blå sirkelen vil oppleve et større lusepress.



Figur 33: Eksempel på nøkkellokasjon (rød sirkel) som kan påvirke andre oppdrettsanlegg (blå sirkel) (Fiskeridirektoratet, 2019a)

Med sikre tall i modellen vil en kunne gjøre gode estimeringer på hvor stort tap i profitt oppdretterne opplever på grunn av utbrudd ved nøkkellokasjonen. Disse oppdretterne vil da få dekt dette tapet gjennom utbetalinger fra potten. Oppdretteren i den røde sirkelen risikerer å ikke få tilbake noe av det den betalte inn hvis konsekvensene er store nok. En oppdretter som ikke har påført andre tap i profitt eller opplevd å bli påvirket av andre oppdrettere, vil få tilbake den samme summen som de betalte inn.

7.4. Diskusjon av variabler

Konseptmodellen som er lagd må sees på som en forenkling av virkeligheten, men gir et godt grunnlag for videre arbeid. For å begrense oppgavens omfang har det blitt gjort forenklinger på estimeringen av variabler. Det er kompliserte faktorer som kommer inn i spill, og visse antagelser er gjort og belyst gjennom oppgaven. Modellen anses allikevel som god nok for sitt formål og gir et oversiktsbilde over påvirkningen eksternalitetene kan ha. Hvert eneste oppdrettsanlegg vil oppleve ulikheter ved bruk av modellen og vi ser for oss at med spesifikke

verdier for hvert enkelt anlegg vil modellen være svært vellykket. Videre i dette delkapittelet blir det diskutert rundt estimeringene av variablene og hvordan disse eventuelt kan forbedres.

7.4.1. Beregning av bærekraft, K_0

Beregningen av optimal bærekraft i et oppdrettsanlegg har blitt basert på en enkel tilnærming. Den går ut på at det er et maksimalt volum som er tillatt basert på MTB. I realiteten er det tillatelser og lokalitet som bestemmer hvor mye fisk en oppdretter kan ha i sjøen til enhver tid.

Som forklart i kapittel 2.3.1 er vanlig størrelse på en tillatelse på konsesjonsnivå 780 tonn, men det er mulig å slå sammen flere tillatelser og dermed øke produksjonen. Disse faktorene gjør at det er vanskelig å generalisere bærekraften i et anlegg. Trafikklyssystemet vil også påvirke hvor mye en oppdretter kan øke produksjonen.

7.4.2. Sonemodell

Inndeling av soner er gjort på et generelt grunnlag, da det eksisterer lite data og forskning på dette området. Når det gjelder spredning av lus er det gjort modelleringer om hvor langt lusen kan spre seg med vannstrømmene og soneinndelingen er basert på dette. Spredning av sykdom er mer kompleks siden ulike biologiske faktorer for virus og bakterier kan påvirke potensiell spredning. Litteratur viser til at spredning i sykdom kan ta noe lenger tid enn spredning av lus (FHF, 2018; Havforskningsinstituttet, 2018). Sykdomssmitte skjer hovedsakelig ved berøringer, men høyere tetthet av fisk vil føre til mer biologisk avfall som kan spre smitte. Samtidig antas det at biologisk avfall blir tynnet ut med vannstrømmene. Sonefaktor for sykdom er derfor redusert relativt til sonen for lusespredning. Dette gjorde at det ble valgt å redusere soneavstanden for sykdom til halvparten av den for lus.

7.4.3. Parasitt og sykdomsmodell

Både parasittmodellen og sykdomsmodellen er basert på en tilnærming ved bruk av eksisterende data. Faktorene i modellene beskrevet i kapittel 4 inneholder komponenter og sannsynlighetsfordelinger som det ikke er tilgjengelig data på i dag. Derfor blir det gjennomført en tilnærming for å kunne få så presise verdier som mulig.

Lusetelling skjer ukentlig og det antas at dette er et solid grunnlag for å kunne estimere Q . I beregningene blir de gjennomsnittlige verdiene for hvert produksjonsområde brukt for hver måned de siste 5 årene. Sykdomsmodellen har ikke like solid datagrunnlag. Det kan ta lenger tid før sykdommer kommer til syne i form av unaturlig adferdsmønster hos laksen. Dermed blir ikke sykdommer oppdaget før det gjerne er for sent. I tillegg er det ikke alle sykdommer som er rapporteringspliktig, som gjør at det kan være store skyggetall relatert datainnsamlingen. I tillegg vil det være en korrelasjon mellom Q og R . Infeksjon av lakselus kan ofte føre til en redusert motstandsdyktighet hos laks som igjen kan gjøre det lettere for sykdom å etablere seg. Dermed vil en økning i Q også gi mulighet for en økning i R .

7.4.4. Den naturlige vekstraten, r

Det er mange forhold som virker inn på veksten av laksen som kunne vært tatt med, f.eks. genetik, fôring, temperatur og lysforhold. Det har til og med vært rapportert om «deprimert laks» som har opplevd betydelig mindre vekst enn andre laks i samme merd (Grande, 2019).

Vekstraten til en laks vil være svært forskjellig fra startfôringsfasen, hvor daglig prosentvis økning i vekt kan være opp mot hele 5 %, mens for en stor sjøsatt laks vil 0,5 % være høyt (Vestfossen, 2005). Til tross for dette anser vi vår tilnærming som god nok, da modellen tar for seg tap av profitt ved slaktetidspunktet. Så lenge laksen når målvekten i løpet av den aktuelle perioden vil ikke hastigheten av tilveksten ha noe betydning.

8. Konklusjon

Gjennom denne oppgaven har vi belyst og analysert negative eksternaliteter innen oppdrettsnæringen, med fokus på spredning av lakselus og sykdom. Den bioøkonomiske modellen som er lagd er basert på eksisterende teori og har blitt brukt som analyseringsverktøy. Hovedfunnene i resultatene våre er at det å ta hensyn til negative eksternaliteter kan forutsi potensiale for profittreduksjon. Ved å bruke gjennomsnittlige nasjonale tall kan negative eksternaliteter utgjøre en årlig profittreduksjon på 11,5 %, 20,6 % eller 29,7 % om anlegget befinner seg henholdsvis i grønn, gul eller rød smittesone for lus. For sykdom vil tallene være 20,6 %, 23,0 % og 25,5 %.

Videre fra modellen ser vi at variasjoner i lus har større betydning for profittreduksjon enn variasjon i smittefare. Grunnen til dette er at lus beveger seg raskere med vannmassene, samt at konsentrasjonen av lus ofte er høyere enn konsentrasjonen av sykdom.

Modellen tar høyde for summen av smittesituasjonen i et gitt område og potensialet for tapt profitt basert på biologisk data. Direkte kostnader relatert til konsekvensen av smitte vil variere med utbredelsen av smitten, enten det er lus eller sykdom. Den tapte profitten vil i realiteten ikke slå inn før et anlegg faktisk blir smittet, og modellen kan gi beslutningstakere et bedre grunnlag for å gjennomføre investeringer for mottiltak mot lus og sykdom.

Det er viktig at oppdrettere har en åpen og god dialog, slik at mottiltak kan igangsettes så tidlig som mulig. Soneinndelinger og videre forskning innenfor havstrømmer vil spille en stor rolle for å forbedre modellen på dette området.

En styrket næring vil gi økt sysselsetting og økt verdiskapning til samfunnet. Nye reguleringer kan være med på å styrke industrien og reformen om kommunale insentiver for oppdrett kan gjøre det lettere for lokale samfunn å skattlegge anlegg. Det gjør det mulig å kunne minimere effektivitetstapet industrien opplever i dag på grunn av negative eksternaliteter. En skattelegging kan være med på å internalisere eksternalitetene og skyve produksjonen nærmere det sosiale optimum. Alternativt kan næringen benytte seg av depositumsmodellen som kan fungere som en mer rettferdig metode å stille oppdretterne med smittekilde til ansvar.

Ny teknologi vil over tid gi mer kostnadseffektivt oppdrett. Når produksjonskostnadene til løsninger som landbaserte, lukkede eller offshore-installasjoner blir mindre enn grensekostnaden som er 34,93 NOK/kg, ser vi at det er naturlig for næringen å benytte seg av disse nye teknologiene.

9. Videre arbeid

For videre arbeid anbefales det få mer nøyaktig data fra hvert enkelt oppdrettsanlegg for å kunne tilpasse modellen i større grad. Det vil med større sikkerhet måle påvirkningen av spredning av lus og spredning av sykdom.

Det er også interessant å se hvordan negative eksternaliteter kan påvirke andre aktører enn andre oppdrettere. Hvordan kan negative eksternaliteter som miljøtilstand, avfall og genetisk interaksjon påvirke villaks, naturnyttelse og andre økosystemer i naturen. Til dette formålet kan modellen brukes som et utgangspunkt for videre implementering av slike faktorer.

For å kunne gjøre modellen mer virkelighetsnær vil det være viktig å kunne ta for seg korrelasjon mellom faktorene. Fra resultatene kan vi se at en økning i alle variablene som er brukt fører til en økning i de negative eksternalitetsfaktorene. Dette vil igjen føre til at potensialet for økonomisk tap øker. Laks som er infisert av lus vil oppleve redusert vekst grunnet mindre appetitt, samt redusert motstandsdyktighet mot sykdom og økt dødelighet. Dermed kan en anta at det eksisterer korrelasjon mellom luseinfeksjon, smitte av sykdom og vekstrate. En økning i de to førstnevnte gir en reduksjon av det sistnevnte, som alle er med på å øke det økonomiske tapet. Dette burde undersøkes nærmere.

Kildeliste

- Aas, T. S., & Åsgård, T. E. J. N. r. (2017). Estimert innhold av næringsstoff og energi i fôrspill og faeces fra norsk lakseoppdrett.
- Akvagroup. (2015). Fremtidig vekst i lakseoppdrett. Retrieved from <https://www.akvagroup.com/nyheter/arkiv/nyheter-view/fremtidig-vekst-i-lakseoppdrett>
- Artsdatabanken. (2019). Overbeskatning. Retrieved from <https://www.artsdatabanken.no/Pages/137956>
- Asche, F., & Bjørndal, T. (2011). *The economics of salmon aquaculture* (2nd ed. ed.). Chichester: Wiley-Blackwell.
- Backe, T. (2017). Fremtidens lakseoppdrett blir annerledes enn i dag. Retrieved from <http://www.innovasjonogforskning.no/teknologi/fremtidens-lakseoppdrett-blir-annerledes-enn-i-dag>
- Bellona. (2006). Akvakulturloven. Retrieved from <https://bellona.no/nyheter/ukategorisert/2006-06-akvakulturloven>
- Bellona. (2013). *Tradisjonelt og Integrert Havbruk*. Retrieved from <https://bellona.no/assets/Bellona-rapport-Tradisjonelt-og-Integrert-Havbruk-2013.pdf>
- Berg, A., Fjelldal, P. G., & Hansen, T. (2007). Bivirkninger av vaksinasjon. In *Kyst og havbruk 2007*. Retrieved from https://www.imr.no/filarkiv/2007/03/3.9.6_Bivirkninger_av_vaksinasjon.pdf/nb-no
- Berge, A. (2019). Her er fallgruvene for oppdrett i RAS-anlegg. Retrieved from <https://ilaks.no/her-er-fallgruvene-for-oppdrett-i-ras-anlegg/>
- Bergheim, A., & Braaten, B. J. R. f. I. (2007). Modell for utslipp fra norske matfiskanlegg til sjø. *180*, 35.
- Biomar. (2019a). Arter - Villfanget leppefisk. Retrieved from <https://www.biomar.com/no/norway/arkiv/produkt/symbio/arter/>
- Biomar. (2019b). Hvorfor rensefisk? Retrieved from <https://www.biomar.com/no/norway/arkiv/produkt/symbio/hvorfor-rensefisk/>
- Blokhin, A. (2018, 14/09). How do economists measure externalities? Retrieved from <https://www.investopedia.com/ask/answers/043015/how-do-economists-measure-positive-and-negative-externalities.asp>
- Bøhle, K. (2019). Enkel næringskjede med tre trofiske nivå. Retrieved from <https://ndla.no/nn/node/100138>
- Combes, C. (2001). *Parasitism: the ecology and evolution of intimate interactions*: University of Chicago Press.
- Diserud, O. H., Fiske, P., & Hindar, K. J. N. R. (2010). Regionvis påvirkning av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander i Norge. *622*, 1-40.
- Espmark, Å. M. O. (2019). Ulike typer oppdrettsanlegg. Retrieved from <https://nofima.no/verdt-a-vite/ulike-typer-oppdrettsanlegg/>
- FHF. (2018). Strategier for å begrense spredning av PD mellom sjølokaliteter med oppdrettet laksefisk: Smittebegrensende driftsopplegg med basis i vanntransport og utbruddsrisiko. Retrieved from <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901005>
- Fiskedirektoratet. (2016). Biomasse. Retrieved from <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Drift-og-tilsyn/Biomasse>
- Fiskeridirektoratet. (2010). *For stor merd eller for mange fisk?* Retrieved from <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Dokumenter/Rapporter/For-stor-merd-eller-for-mange-fisk>
- Fiskeridirektoratet. (2017). Tildelingsprosessen. Retrieved from <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Tildelingsprosessen>
- Fiskeridirektoratet. (2018). Lønnsomhetsundersøkelse for laks og regnbueørret: Matfiskproduksjon. Retrieved from <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Loennsomhetsundersoekelse-for-laks-og-regnbueoerret/Matfiskproduksjon-laks-og-regnbueoerret>
- Fiskeridirektoratet. (2019a). Kart - Akvakultur. Retrieved from <https://kart.fiskeridir.no/akva>
- Fiskeridirektoratet. (2019b, 30.04.2019). Oversikt over søknader om utviklingstillatelser. Retrieved from <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Saertillatelser/Utviklingstillatelser/Soekere-antall-og-biomasse>
- Glover, K. A., Hindar, K., Karlsson, S., Skaala, Ø., & Svåsand, T. (2011). Genetiske effekter av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander:: utforming av indikatorer. *NINA rapport*.

- Grande, A. (2019). Oppdrettslaks plages av depresjon. *Dagens Næringsliv*. Retrieved from <https://www.dn.no/havbruk/oppdrettslaks/depresjon/fiskeridirektoratet/oppdrettslaks-plages-av-depresjon/2-1-587178>
- Grefsrud, E. S., Glover, K., Grøsvik, B. E., Husa, V., Karlsen, Ø., Kristiansen, T. S., . . . Stien, L. H. (2018). Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2018.
- Hallenstvedt, A. (2014, 12.11.2014). havbruk. Retrieved from <https://snl.no/havbruk>
- Hallenstvedt, A. (2015, 12.06.2015). fiskeoppdrett. Retrieved from <https://snl.no/fiskeoppdrett>
- Haraldsen, W. Oppdrettsanlegg i Hardangerfjorden. In. Norwegian Digital Learning Arena. Havforskningsinstituttet. (2009). Generell biologi. Retrieved from <https://www.imr.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/90682/nb-no>
- Havforskningsinstituttet. (2018). Hvordan spres lakselusa? Retrieved from <http://www.imr.no/hi/temasider/arter/lakselus/hvordan-spres-lakselusa>
- Hjeltnes, B., Jensen, B. B., Bornø, G., Haukaas, A., & Walde, C. S. (2019). Fiskehelse rapporten 2018. Retrieved from <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2019/fiskehelse rapporten-2018>.
- Hjeltnes, B., Walde, C., Bang Jensen, B., & Haukaas, A. (2017). Fiskehelse rapporten 2017 (Fish health report 2017). *Veterinærinstituttet. ISSN, 1480*.
- Holan, A. B., Roth, B., Breiland, M. S. W., Kolarevic, J., Hansen, Ø. J., Iversen, A., . . . Mortensen, A. (2017). Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI)-Faglig sluttrapport. *Nofima rapportserie*.
- Hosteland, L. T. S. (2018). Ser stadig mer av den viktigste sykdommen hos laks. Retrieved from <https://www.kyst.no/article/ser-stadig-mer-av-den-viktigste-sykdommen-hos-laks/>
- IDM. (2019). SIR and SIRS models - Generic model documentation. Retrieved from <https://institutefordiseasemodeling.github.io/Documentation/general/model-sir.html#sir-model>
- Idsø, J. (2017, 23.05.2017). eksterne virkninger - Store norske leksikon. Retrieved from https://snl.no/eksterne_virkninger
- Kalager, F., & Hellen, T. (2018). *Kostnader knyttet til behandling mot lakselus i norsk havbruksnæring*. University of Stavanger, Retrieved from https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2566162/Kalager_Fredrik_Sandvaer_Hellen_Thomas.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Kraugerud, R. L. (2019). Er lukkede oppdrettsanlegg eneste løsningen? Retrieved from <https://nofima.no/nyhet/2019/03/er-lukkede-oppdrettsanlegg-eneste-losningen/>
- Kvistad, A. (2013). Luseskjørt - virkemåte og testresultater. Retrieved from <https://lusedata.no/fou/luseskjort-virkemate-og-testresultater/>
- Kyst.no. (2001, 17.03.2018). Hvor lave temperaturer tåler fisken? Retrieved from <https://www.kyst.no/article/hvor-lave-temperaturer-taaler-fisken-1/>
- Laksefakta. (2018, 23.08.2018). Norske regler for miljø og oppdrett. Retrieved from <https://laksefakta.no/laks-og-miljo/norske-regler-for-miljo-og-oppdrett/>
- Lorentzen, M. (2016). Kjell Inge Røkkes Aker satses en halv milliard på offshoreoppdrett. Retrieved from <https://e24.no/boers-og-finans/aker/slik-vil-aker-og-norway-royal-salmon-drive-oppdrett-paa-aapent-hav/23641282>
- Lovdata. Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften). Retrieved from <https://lovdata.no/forskrift/2008-06-17-822/§25>
- Lovdata. (2008). Forskrift om omsetning av akvakulturdyr og produkter av akvakulturdyr, forebygging og bekjempelse av smittsomme sykdommer hos akvatiske dyr. Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-819>
- Lovdata. (2012). Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg. Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-05-1140>
- Lovdata. (2015, 05.02.2015). Forskrift om fellesansvar for utfisking mv. av rømt oppdrettsfisk.
- Lovdata. (2017). Forskrift om endring i forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg. Retrieved from <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2017-03-06-275>
- Lusedata. (2019). Nøkkeltall - Lusedata. Retrieved from <http://statistikk.lusedata.no/>
- Mattilsynet. (2012). Vaksiner til oppdrettsfisk. Retrieved from https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskehelse/vaksiner_til_fisk/
- Mattilsynet. (2013, 17.01.2013). Hvilke sykdommer er det forbudt å vaksinere mot? Retrieved from https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskehelse/vaksiner_til_fisk/hvilke_fiskesykdommer_er_det_forbudt_aa_vaksinere_mot.5833
- McConnell, C. R., Brue, S. L., Flynn, S. M., & Grant, R. R. (2013). *Microeconomics: Brief Edition*: McGraw-Hill/Irwin.
- Mikkelsen, E. (2007). Aquaculture-fisheries interactions. *Marine Resource Economics*, 22(3), 287-303.

- Misund, B. (2018, 16.11). Rensefisk. Retrieved from <https://snl.no/rensefisk>
- Noble, C., Nilsson, J., Stien, L. H., Iversen, M. H., Kolarevic, J., & Gismervik, K. (2018). Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd. 2. utgave.
- NRK. (2019). Vil femdoble sjømatnæringen – prislappen er på 500 milliarder. Retrieved from <https://www.nrk.no/trondelag/sjomat-norge-onsker-a-femdoble-sjomatnaeringen--vil-koste-500-milliarder-1.14501218>
- Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y., & Skjeremo, J. (2012). Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. *Det Kongelige*.
- Oslø, A. N. (2018). Slik ser fremtidens oppdrett ut. *Sysla*. Retrieved from <https://sysla.no/fisk/den-store-guiden-til-fremtidens-oppdrettsanlegg/>
- Regjeringen. (2005). Om lov om akvakultur (akvakulturloven). Retrieved from https://www.regjeringen.no/contentassets/ca442ebcd0d94331b1e0e42628855d66/no/pdfs/otp_200420050061000dddpdfs.pdf
- Regjeringen. (2009). Strategi for en miljømessig bærekraftig havbruksnæring. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/strategi-for-en-miljomessig-barekraftig-id571066/>
- Regjeringen. (2018a, 26. oktober 2018). Forum for Havbruksskatteutvalget er nedsatt. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/forum-for-havbruksskatteutvalget-er-nedsatt/id2617093/>
- Regjeringen. (2018b, 7. september 2018). Mandat for utvalg som skal vurdere beskatningen av havbruk. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/dep/fin/pressemeldinger/2018/utvalg-skal-vurdere-beskatningen-av-havbruk/mandat-for-utvalg-som-skal-vurdere-beskatningen-av-havbruk/id2610382/>
- Regjeringen skurrer på trafikklyset. (2017). Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-skrur-pa-trafikklyset/id2577032/>
- Roberts, M. (1995). A pocket guide to host-parasite models. *Parasitology Today*, 11(5), 172-177.
- Sandsør, A. M. J. (2010). Eksterne virkninger og kollektive goder. Retrieved from https://www.uio.no/studier/emner/sv/oekonomi/ECON1210/h12/undervisningsmateriale/ekster_naliteter_kollektive_goder_handout2.pdf
- Seafood, E. (2019). Laksens livssyklus. Retrieved from <https://erkoseafood.no/laks/>
- SjømatNorge. (2019). Dette er sjømat 2030. Retrieved from <https://sjomatnorge.no/sjomat-2030/>
- Sjømatråd, N. (2019). Sjømatnasjonen Norge. Retrieved from <https://sjomatnasjonen.seafood.no/>
- Skilbrei, O. T., Heino, M., & Svåsand, T. (2014). Using simulated escape events to assess the annual numbers and destinies of escaped farmed Atlantic salmon of different life stages from farm sites in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 72(2), 670-685.
- SSB. (2018a). Akvakultur. Retrieved from <https://www.ssb.no/fiskeoppdrett>
- SSB. (2018b, 20.10.2018). Akvakultur - årlig, endelige tall. Retrieved from <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/fiskeoppdrett/aar>
- SSB. (2019). Eksport av oppalene laks etter uke. Retrieved from <https://www.ssb.no/statbank/table/03024/chartViewLine/>
- Steinset, T. A. (2017, 13.02.2017). Frå attåttnæring til milliardindustri. Retrieved from <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/fra-attatnaering-til-milliardindustri>
- Taranger, G. L., Boxaspen, K., Madhun, A. S., & Svåsand, T. (2011). Risikovurdering-miljøvirkninger av norsk fiskeoppdrett [2010].
- Tekna. (2018). Norsk oppdrett i endring. Retrieved from <https://www.tekna.no/kurs/innhold/norsk-oppdrett-i-endring/>
- Thomsen, A. E. (2019). Trafikklyssystemet: Alles øyne er nå på 2019. Retrieved from <https://www.kyst.no/article/trafikklyssystemet-alles-oyne-er-naa-paa-2019/>
- Torrissen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skilbrei, O. T., Nilsen, F., . . . Jackson, D. (2013). Salmon lice—impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of fish diseases*, 36(3), 171-194.
- Vedeler, H. V. (2017). *Viral diseases in salmonid aquaculture : quantifying economic losses associated with three viral diseases affecting norwegian salmonid aquaculture*. (Master), Norges Handelshøyskole,
- Vestfossen, K. (2005). *Bruk av multivariate metoder til å analysere vekst hos individmerket atlantisk laks med hensyn på lysregime, kjønn og modning*. The University of Bergen,
- Veterinærinstituttet. (2004). Kultiveringsveilederen. Retrieved from http://multiconsult.eurest.no/nor/content/download/3784/34296/file/4.3.1_F%C3%B4ring_av_fisk.pdf

- Veterinærinstituttet. (2019). Lakselus. Retrieved from <https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/lakselus>
- Wobeser, G. A. (2013). *Essentials of disease in wild animals*: John Wiley & Sons.
- Ögüt, H. (2001). Modeling of fish disease dynamics: a new approach to an old problem. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1(1), 67-74.

Appendix

Appendix A1 – Lusedata

Lusedata 2018	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Finnmark	0,4312	0,2596	0,2402	0,16	0,103	0,096	0,076	0,338	0,76	0,948	0,53	0,377
Troms	0,70399	0,766	0,4654	0,351	0,154	0,159	0,196	0,475	0,96	0,735	0,422	0,357
Nordland	0,54553	0,4521	0,4198	0,324	0,191	0,294	0,37	0,615	0,79	0,558	0,428	0,292
Nord-Trøndelag	0,79692	0,7242	0,5656	0,362	0,358	0,416	1,035	1,078	1,58	0,865	1,027	0,898
Sør-Trøndelag	0,221	0,2252	0,2354	0,222	0,269	0,659	1,418	1,305	1,27	0,911	0,912	0,598
Møre og Romsdal	0,88784	0,8133	0,7701	0,541	0,549	0,39	0,662	0,701	1,14	0,686	0,543	0,575
Sogn og Fjordane	3,15716	3,4044	3,2729	1,653	1,222	1,254	1,76	1,787	2,65	2,973	2,636	2,3
Hordaland	2,6227	2,6695	1,8623	0,883	0,68	1,181	1,21	1,19	1,08	1,094	1,472	2,011
Rogaland og Agder	1,57487	1,3071	1,2581	0,561	0,693	0,894	0,767	0,755	0,78	0,581	0,757	0,84
Totalsum	1,36766	1,3747	1,0991	0,623	0,478	0,652	0,837	0,919	1,16	1,009	0,971	0,985

Lusedata 2017	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Finnmark	0,37604	0,3253	0,2483	0,214	0,126	0,106	0,085	0,289	0,45	0,567	0,487	0,354
Troms	0,58691	0,657	0,58	0,405	0,306	0,195	0,287	0,7	0,85	0,718	0,719	0,634
Nordland	0,59761	0,6142	0,4978	0,534	0,406	0,366	0,438	0,823	1,22	0,873	1,209	0,702
Nord-Trøndelag	1,02228	1,3558	0,8077	0,731	0,315	0,513	0,7	0,497	0,64	0,8	0,672	0,705
Sør-Trøndelag	0,68392	0,7074	0,6143	0,409	0,411	0,937	0,842	0,632	0,52	0,484	0,363	0,238

Møre	og												
Romsdal		0,62168	0,6215	0,9721	1,154	0,9	1,106	1,087	1,472	1,33	0,865	0,799	0,643
Sogn	og												
Fjordane		2,90467	2,3694	2,8525	2,918	2,011	2,879	1,754	1,08	1,55	2,417	3,797	3,094
Hordaland		2,02614	1,9716	1,8508	1,37	1,192	1,24	0,72	0,701	1,02	1,426	1,893	2,069
Rogaland	og												
Agder		1,3921	1,2321	1,1412	0,901	0,714	0,532	0,649	0,768	0,79	0,666	1,023	1,231
Totalsum		1,23516	1,1858	1,2055	1,067	0,804	0,922	0,71	0,796	1	1,052	1,364	1,225

Lusedata 2016	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	
Finnmark	0,45014	0,6539	0,4628	0,308	0,192	0,067	0,144	0,436	1,24	0,691	0,534	0,533	
Troms	0,45302	0,6097	0,6572	0,399	0,185	0,155	0,231	0,58	1,04	1,204	0,779	0,464	
Nordland	0,70389	0,4914	0,5408	0,507	0,266	0,387	0,425	0,785	1,19	1,291	0,862	0,606	
Nord-Trøndelag	1,0891	0,7761	0,9038	0,663	0,706	0,805	0,889	1,085	1,52	1,204	1,301	0,875	
Sør-Trøndelag	0,80246	0,6609	0,9636	0,998	0,67	0,997	1,985	3,366	2,94	1,496	1	0,667	
Møre	og												
Romsdal		1,82721	1,8269	1,3769	0,92	0,891	0,706	1,072	1,03	1,12	0,786	0,608	0,536
Sogn	og												
Fjordane		2,54983	2,4258	2,618	1,418	1,397	1,468	1,666	1,23	1,58	3,211	3,255	3,514
Hordaland		1,67006	1,834	1,9819	1,638	1,388	1,34	1,185	1,015	1,47	1,369	1,887	1,812
Rogaland	og												
Agder		1,16825	1,1791	1,367	0,786	0,846	1,175	0,692	0,714	1,09	1,178	1,527	1,702
Totalsum		1,27581	1,2714	1,3766	1,023	0,829	0,858	0,952	1,111	1,42	1,407	1,372	1,287

Lusedata 2015	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Finnmark	0,23057	0,2052	0,2188	0,267	0,129	0,085	0,188	0,362	1	1,497	0,674	0,525
Troms	0,32274	0,4315	0,3506	0,132	0,099	0,073	0,119	0,434	0,8	0,873	0,637	0,383
Nordland	0,35004	0,3481	0,3597	0,258	0,145	0,222	0,439	0,854	1,35	1,231	0,987	1,014
Nord-Trøndelag	1,6591	1,4562	1,9702	1,689	1,418	1,44	2,625	3,736	2,35	2,708	2,416	1,436
Sør-Trøndelag	0,64793	0,8612	0,7011	0,579	0,642	0,88	1,206	1,471	1,93	2,166	1,243	0,933
Møre og Romsdal	1,8026	1,5787	1,5559	0,987	1,599	1,5	1,603	2,356	3,38	3,715	2,68	2,898
Sogn og Fjordane	4,57702	4,5334	3,1221	2,212	2,35	1,394	1,45	0,579	0,94	1,404	1,767	2,167
Hordaland	3,68771	2,8239	2,1225	1,793	1,616	1,637	1,141	0,353	0,52	1,079	1,624	1,623
Rogaland og Agder	1,41012	1,0472	0,9558	0,969	0,643	0,559	0,369	0,212	0,2	0,245	0,605	0,85
Totalsum	1,84622	1,6766	1,3745	1,092	1,053	0,927	0,924	0,905	1,22	1,464	1,349	1,335

Lusedata 2014	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Finnmark	0,25365	0,2645	0,196	0,18	0,072	0,047	0,099	0,379	0,79	0,74	0,75	0,35
Troms	0,78161	1,3488	0,6573	0,225	0,116	0,101	0,144	0,502	0,5	0,84	0,728	0,552
Nordland	1,18544	0,8529	0,927	0,715	0,38	0,428	0,678	0,993	1,24	1,419	0,85	0,462
Nord-Trøndelag	1,76849	1,261	1,4759	0,894	0,745	0,415	0,752	1,81	2,29	2,394	2,542	1,626
Sør-Trøndelag	0,71474	0,949	0,7237	0,377	0,655	0,739	1,097	1,801	2,31	2,327	1,723	0,966
Møre og Romsdal	2,77942	1,6548	2,1094	1,379	2,428	1,157	1,125	1,3	1,04	1,235	1,899	1,479
Sogn og Fjordane	2,88468	1,8971	2,1246	1,007	1,35	0,785	1,399	2,196	2,64	3,957	5,314	4,204

Hordaland	4,91239	4,414	3,9786	1,569	1,476	1,328	1,437	2,461	3,28	3,402	3,57	3,651
Rogaland og Agder	1,68222	1,8607	1,2198	0,374	0,639	0,799	1,101	1,056	0,42	0,311	0,398	0,548
Totalsum	2,38393	2,0783	1,9778	0,943	0,966	0,746	0,944	1,511	1,77	2,005	2,077	1,761

Appendix A2 – Utrechnet parasittverdier (Q) fra Appendix A1

Q-Verdi 2018	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Finnmark	1,2169	0,602	0,925	0,666	0,643	0,936	0,78	4,474	2,234	1,255	0,559	0,712
Troms	1,1108	1,088	0,608	0,754	0,439	1,03	1,23	2,426	2,027	0,763	0,574	0,847
Nordland	0,7769	0,829	0,929	0,773	0,589	1,54	1,26	1,663	1,287	0,705	0,767	0,682
Nord-Trøndelag	1,1311	0,909	0,781	0,64	0,989	1,162	2,49	1,042	1,463	0,548	1,188	0,874
Sør-Trøndelag	0,9289	1,019	1,045	0,943	1,213	2,449	2,15	0,92	0,974	0,717	1,001	0,656
Møre og Romsdal	1,381	0,916	0,947	0,703	1,014	0,71	1,7	1,058	1,628	0,601	0,792	1,058
Sogn og Fjordane	1,0203	1,078	0,961	0,505	0,739	1,026	1,4	1,015	1,485	1,12	0,887	0,872
Hordaland	1,2678	1,018	0,698	0,474	0,771	1,737	1,02	0,984	0,91	1,01	1,346	1,366
Rogaland og Agder	1,2789	0,83	0,963	0,446	1,237	1,289	0,86	0,985	1,034	0,744	1,303	1,109
Totalsum	1,1166	1,005	0,8	0,567	0,767	1,364	1,28	1,098	1,263	0,87	0,962	1,014

Q-Verdi 2017	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Finnmark	0,7061	0,865	0,763	0,863	0,586	0,846	0,8	3,381	1,551	1,266	0,859	0,727
Troms	1,2658	1,119	0,883	0,697	0,756	0,637	1,47	2,44	1,219	0,84	1,003	0,881

Nordland	0,9859	1,028	0,811	1,072	0,761	0,902	1,2	1,879	1,487	0,713	1,384	0,581
Nord-Trøndelag	1,1682	1,326	0,596	0,905	0,431	1,629	1,37	0,709	1,281	1,258	0,84	1,048
Sør-Trøndelag	1,0259	1,034	0,868	0,666	1,004	2,28	0,9	0,751	0,823	0,93	0,75	0,656
Møre og Romsdal	1,1609	1	1,564	1,187	0,779	1,229	0,98	1,354	0,905	0,65	0,924	0,805
Sogn og Fjordane	0,8266	0,816	1,204	1,023	0,689	1,432	0,61	0,616	1,433	1,562	1,571	0,815
Hordaland	1,1184	0,973	0,939	0,74	0,87	1,041	0,58	0,974	1,454	1,398	1,328	1,093
Rogaland og Agder	0,8177	0,885	0,926	0,789	0,793	0,745	1,22	1,182	1,027	0,845	1,535	1,204
Totalsum	0,9595	0,96	1,017	0,885	0,754	1,147	0,77	1,121	1,254	1,053	1,297	0,898

Q-Verdi 2016	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Finnmark	0,8572	1,453	0,708	0,666	0,622	0,348	2,16	3,023	2,836	0,56	0,772	0,998
Troms	1,1822	1,346	1,078	0,607	0,464	0,836	1,5	2,507	1,787	1,161	0,647	0,595
Nordland	0,6941	0,698	1,1	0,938	0,525	1,456	1,1	1,847	1,515	1,086	0,668	0,703
Nord-Trøndelag	0,7584	0,713	1,165	0,734	1,064	1,141	1,1	1,22	1,4	0,792	1,081	0,673
Sør-Trøndelag	0,8599	0,824	1,458	1,036	0,672	1,488	1,99	1,696	0,874	0,508	0,668	0,667
Møre og Romsdal	0,6304	1	0,754	0,668	0,969	0,792	1,52	0,961	1,089	0,7	0,774	0,881
Sogn og Fjordane	1,1769	0,951	1,079	0,542	0,985	1,051	1,14	0,738	1,281	2,038	1,014	1,079
Hordaland	1,0291	1,098	1,081	0,827	0,847	0,966	0,88	0,856	1,448	0,932	1,378	0,96
Rogaland og Agder	1,3746	1,009	1,159	0,575	1,077	1,388	0,59	1,032	1,533	1,077	1,296	1,115

Totalsum	0,9558	0,997	1,083	0,743	0,81	1,036	1,11	1,167	1,281	0,989	0,975	0,939
-----------------	--------	-------	-------	-------	------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Q-Verdi - 2015	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Finnmark	0,6596	0,89	1,066	1,22	0,484	0,656	2,22	1,922	2,755	1,501	0,45	0,779
Troms	0,5849	1,337	0,813	0,378	0,751	0,732	1,64	3,638	1,845	1,089	0,73	0,601
Nordland	0,7578	0,994	1,033	0,718	0,561	1,532	1,98	1,945	1,575	0,915	0,802	1,027
Nord-Trøndelag	1,02	0,878	1,353	0,857	0,839	1,015	1,82	1,423	0,628	1,155	0,892	0,594
Sør-Trøndelag	0,6705	1,329	0,814	0,826	1,108	1,371	1,37	1,22	1,309	1,124	0,574	0,751
Møre og Romsdal	1,2189	0,876	0,986	0,634	1,621	0,938	1,07	1,47	1,435	1,099	0,722	1,081
Sogn og Fjordane	1,0888	0,99	0,689	0,708	1,062	0,593	1,04	0,399	1,623	1,494	1,258	1,226
Hordaland	1,01	0,766	0,752	0,845	0,901	1,013	0,7	0,309	1,48	2,065	1,505	0,999
Rogaland og Agder	2,574	0,743	0,913	1,014	0,664	0,868	0,66	0,574	0,963	1,199	2,474	1,405
Totalsum	1,0487	0,908	0,82	0,795	0,964	0,88	1	0,979	1,349	1,2	0,922	0,989

Q-Verdi - 2014	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Finnmark		1,043	0,741	0,92	0,4	0,652	2,11	3,833	2,095	0,931	1,013	0,466
Troms		1,726	0,487	0,342	0,517	0,869	1,43	3,48	1,001	1,671	0,867	0,758
Nordland		0,72	1,087	0,772	0,531	1,127	1,58	1,465	1,243	1,149	0,599	0,543
Nord-Trøndelag		0,713	1,17	0,606	0,833	0,557	1,81	2,408	1,266	1,044	1,062	0,64
Sør-Trøndelag		1,328	0,763	0,52	1,738	1,128	1,49	1,642	1,285	1,006	0,74	0,561

Møre	og											
Romsdal		0,595	1,275	0,654	1,76	0,476	0,97	1,156	0,8	1,188	1,538	0,779
Sogn	og											
Fjordane		0,658	1,12	0,474	1,341	0,582	1,78	1,57	1,202	1,499	1,343	0,791
Hordaland		0,899	0,901	0,394	0,94	0,9	1,08	1,713	1,331	1,038	1,05	1,023
Rogaland	og											
Agder		1,106	0,656	0,307	1,71	1,25	1,38	0,959	0,402	0,733	1,28	1,376
Totalsum		0,872	0,952	0,477	1,025	0,772	1,27	1,6	1,173	1,132	1,036	0,848

Appendix A3 – Data for resultater, lus

A3.1 Grønn lusesone

Variasjoner i Mengde smittet av lus	
	11,525 %
0	2 %
0,2	4 %
0,4	5 %
0,6	7 %
0,8	8 %
1	10 %
1,2	11 %
1,4	13 %
1,6	14 %
1,8	16 %
2	17 %
2,2	19 %
2,4	20 %
2,6	22 %
2,8	23 %
3	25 %
3,2	26 %
3,4	28 %
3,6	29 %
3,8	31 %
4	32 %

Variasjon av Smittemengde (lus)	
	11,525 %
0 %	2,45 %
10 %	5,48 %
20 %	8,50 %
30 %	11,53 %
40 %	14,55 %
50 %	17,58 %
60 %	20,60 %
70 %	23,63 %
80 %	26,65 %
90 %	29,68 %
100 %	32,70 %

Variasjon av sykdomsraterate	
	11,525 %
0,8	11,08 %
0,85	11,20 %
0,9	11,33 %
0,95	11,45 %
1	11,58 %
1,05	11,70 %
1,1	11,83 %
1,15	11,95 %
1,2	12,08 %
1,25	12,20 %
1,3	12,33 %

Variasjon av Smittemengde (sykdom)	
	11,525 %
0 %	9 %
10 %	12 %
20 %	14 %
30 %	16 %
40 %	19 %
50 %	21 %
60 %	24 %
70 %	26 %
80 %	29 %
90 %	31 %
100 %	34 %

A3.2 Gul lusesone

Variasjoner i Mengde smittet av lus	
	20,600 %
0	2 %
0,2	5 %
0,4	8 %
0,6	11 %
0,8	14 %
1	17 %
1,2	20 %
1,4	23 %
1,6	26 %
1,8	29 %
2	32 %
2,2	35 %
2,4	38 %
2,6	41 %
2,8	44 %
3	47 %
3,2	50 %
3,4	53 %
3,6	56 %
3,8	59 %
4	62 %

Variasjon av Smittemengde (lus)	
	20,600 %
0 %	2,45 %
10 %	8,50 %
20 %	14,55 %
30 %	20,60 %
40 %	26,65 %
50 %	32,70 %
60 %	38,75 %
70 %	44,80 %
80 %	50,85 %
90 %	56,90 %
100 %	62,95 %

Variasjon av sykdomsraterate	
	20,600 %
0,8	20,15 %
0,85	20,28 %
0,9	20,40 %
0,95	20,53 %
1	20,65 %
1,05	20,78 %
1,1	20,90 %
1,15	21,03 %
1,2	21,15 %
1,25	21,28 %
1,3	21,40 %

Variasjon av Smittemengde (sykdom)	
	20,600 %
0 %	18 %
10 %	21 %
20 %	23 %
30 %	26 %
40 %	28 %
50 %	30 %
60 %	33 %
70 %	35 %
80 %	38 %
90 %	40 %
100 %	43 %

A3.3 Rød lusesone

Variasjoner i Mengde smittet av lus	
	29,675 %
0	2 %
0,2	7 %
0,4	11 %
0,6	16 %
0,8	20 %
1	25 %
1,2	29 %
1,4	34 %
1,6	38 %
1,8	43 %
2	47 %
2,2	52 %
2,4	56 %
2,6	61 %
2,8	65 %
3	70 %
3,2	74 %
3,4	79 %
3,6	83 %
3,8	88 %
4	92 %

Variasjon av Smittemengde (lus)	
	29,675 %
0 %	2,45 %
10 %	11,53 %
20 %	20,60 %
30 %	29,68 %
40 %	38,75 %
50 %	47,83 %
60 %	56,90 %
70 %	65,98 %
80 %	75,05 %
90 %	84,13 %
100 %	93,20 %

Variasjon av sykdomsraterate	
	29,675 %
0,8	29,23 %
0,85	29,35 %
0,9	29,48 %
0,95	29,60 %
1	29,73 %
1,05	29,85 %
1,1	29,98 %
1,15	30,10 %
1,2	30,23 %
1,25	30,35 %
1,3	30,48 %

Variasjon av Smittemengde (sykdom)	
	29,675 %
0 %	27 %
10 %	30 %
20 %	32 %
30 %	35 %
40 %	37 %
50 %	39 %
60 %	42 %
70 %	44 %
80 %	47 %
90 %	49 %
100 %	52 %

Appendix A4 – Data for resultater, sykdom

A4.1 Grønn sykdomssone

Variasjoner i Mengde smittet av lus	
	20,600 %
0	2 %
0,2	5 %
0,4	8 %
0,6	11 %
0,8	14 %
1	17 %
1,2	20 %
1,4	23 %
1,6	26 %
1,8	29 %
2	32 %
2,2	35 %
2,4	38 %
2,6	41 %
2,8	44 %
3	47 %
3,2	50 %
3,4	53 %
3,6	56 %
3,8	59 %
4	62 %

Variasjon av Smittemengde (lus)	
	20,600 %
0 %	2,45 %
10 %	8,50 %
20 %	14,55 %
30 %	20,60 %
40 %	26,65 %
50 %	32,70 %
60 %	38,75 %
70 %	44,80 %
80 %	50,85 %
90 %	56,90 %
100 %	62,95 %

Variasjon av sykdomsraterate	
	20,600 %
0,8	20,15 %
0,85	20,28 %
0,9	20,40 %
0,95	20,53 %
1	20,65 %
1,05	20,78 %
1,1	20,90 %
1,15	21,03 %
1,2	21,15 %
1,25	21,28 %
1,3	21,40 %

Variasjon av Smittemengde (sykdom)	
	20,600 %
0 %	18,15 %
10 %	20,60 %
20 %	23,05 %
30 %	25,50 %
40 %	27,95 %
50 %	30,40 %
60 %	32,85 %
70 %	35,30 %
80 %	37,75 %
90 %	40,20 %
100 %	42,65 %

A4.2 Gul sykdomssone

Variasjoner i Mengde smittet av lus	
	23,050 %
0	5 %
0,2	8 %
0,4	11 %
0,6	14 %
0,8	17 %
1	20 %
1,2	23 %
1,4	26 %
1,6	29 %
1,8	32 %
2	35 %
2,2	38 %
2,4	41 %
2,6	44 %
2,8	47 %
3	50 %
3,2	53 %
3,4	56 %
3,6	59 %
3,8	62 %
4	65 %

Variasjon av Smittemengde (lus)	
	23,050 %
0 %	4,90 %
10 %	10,95 %
20 %	17,00 %
30 %	23,05 %
40 %	29,10 %
50 %	35,15 %
60 %	41,20 %
70 %	47,25 %
80 %	53,30 %
90 %	59,35 %
100 %	65,40 %

Variasjon av sykdomsraterate	
	23,050 %
0,8	22,15 %
0,85	22,40 %
0,9	22,65 %
0,95	22,90 %
1	23,15 %
1,05	23,40 %
1,1	23,65 %
1,15	23,90 %
1,2	24,15 %
1,25	24,40 %
1,3	24,65 %

Variasjon av Smittemengde (sykdom)	
	23,050 %
0 %	18,15 %
10 %	23,05 %
20 %	27,95 %
30 %	32,85 %
40 %	37,75 %
50 %	42,65 %
60 %	47,55 %
70 %	52,45 %
80 %	57,35 %
90 %	62,25 %
100 %	67,15 %

A4.3 Rød sykdomssone

Variasjoner i Mengde smittet av lus	
	25,500 %
0	7 %
0,2	10 %
0,4	13 %
0,6	16 %
0,8	19 %
1	22 %
1,2	25 %
1,4	28 %
1,6	31 %
1,8	34 %
2	37 %
2,2	40 %
2,4	43 %
2,6	46 %
2,8	49 %
3	52 %
3,2	55 %
3,4	58 %
3,6	61 %
3,8	64 %
4	67 %

Variasjon av Smittemengde (lus)	
	25,500 %
0 %	7,35 %
10 %	13,40 %
20 %	19,45 %
30 %	25,50 %
40 %	31,55 %
50 %	37,60 %
60 %	43,65 %
70 %	49,70 %
80 %	55,75 %
90 %	61,80 %
100 %	67,85 %

Variasjon av sykdomsraterate	
	25,500 %
0,8	24,15 %
0,85	24,53 %
0,9	24,90 %
0,95	25,28 %
1	25,65 %
1,05	26,03 %
1,1	26,40 %
1,15	26,78 %
1,2	27,15 %
1,25	27,53 %
1,3	27,90 %

Variasjon av Smittemengde (sykdom)	
	25,500 %
0 %	18,15 %
10 %	25,50 %
20 %	32,85 %
30 %	40,20 %
40 %	47,55 %
50 %	54,90 %
60 %	62,25 %
70 %	69,60 %
80 %	76,95 %
90 %	84,30 %
100 %	91,65 %