




Universitetet  
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Industriell økonomi	Vårsemesteret, 2021  Åpen
Forfatter: Sivert Leikvoll	 .....
Fagansvarlig: Veileder(e): Bård Misund	
Tittel på masteroppgaven: En bioøkonomisk analyse av eksternaliteter i ulike former for lakseoppdrettsanlegg.  Engelsk tittel: A bioeconomic analysis of externalities in different types of salmon farms	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Lakselus, eksternaliteter, landbasert oppdrett, bioøkonomi.	Sidetall: ...61.....  Stavanger, 13.06.2021

## Sammendrag:

Med et nært forestående grønt skifte i Norges økonomi vil oppdrettsnæringen få en stadig viktigere rolle å fylle. Fra dens spede begynnelse på 70 tallet har næringen vokst helt frem til 2015, der veksten er redusert grunnet stadig større problemer med lakselus, og et større søkelys på andre konsekvenser av oppdrettet på miljøet rundt slike anlegg.

Oppdrettsnæringen har de siste årene kunne nyte godt av solide overskudd og resultater som følge av høye lakseprisen. Samtidig har også kostnader knyttet til fiskehelse økt, og fremstår som et større og større problem. For å kjempe mot denne utviklingen har nye teknologier og nye metoder for oppdrett vært et fokusområde både for oppdretterne, men også for de regulerende myndighetene.

I denne oppgaven har effekten nye oppdrettsteknologier har på eksternaliteter, og hvordan dette kan utvikle seg videre blitt utforsket. Fokuset her er satt på lakselus, oppdrettslaks i lakseelver, utslipp av næringssalter og annet avfall og arealbruk. Teknologiene som vil bli undersøkt er Innaskjærs åpne oppdrettsanlegg, offshore oppdrettsanlegg, landbaserte oppdrettsanlegg, semi-lukkede oppdrettsanlegg og til slutt lukkede anlegg i sjø.

Resultatet fra studien for spredning av lus mellom anleggene viste at for et oppdrettsanlegg bestående av 780 tonn, altså en konsesjon, vil den eksterne kostnaden for innaskjærs og semi-lukkede anlegg utgjøre 58.6%, for Offshore-anlegg vil det utgjøre 57.5%, og for lukkede anlegg både på land og i vann vil det ikke forekomme smitte av denne typen.

For elvefiske ble 5 nasjonale lakseelver i Sognefjorden undersøkt og kostnader knyttet til lusesmitte fra oppdrettsanlegg vurdert. Her vil elvefisket lide tap på 5.4 millioner for innaskjærs og semi-lukkede anlegg, 0.9 millioner for offshore anlegg, og ingen eksterne kostnader for de to lukkede variantene.

Arealbruken representerer også eksterne kostnader med tap av både rekreasjon, selv og bruksverdier i strandsone og på vannet. Samtidig gjør dagens situasjon med mange små oppdrettsanlegg at den totale arealbruken kan reduseres, selv med utelukkende bruk av den mest arealkrevende teknologien, nemlig landbaserte anlegg. Noe som indikerer store muligheter for reduksjon i arealet som brukes til dette formålet.

## Abstract:

With a wave of green changes affecting Norway economy, the salmon farming industry will have an important role to play. From the small beginnings of the industry in the 1970s, the salmon farming sector grew continuous until 2015, where the growth stagnated due to issues with salmon lice, and a larger focus on other issues caused by the industry.

In the later years the salmon farming industry has had the opportunity, partly due to high salmon prices to create large profits and become financially stable. In the meantime, costs related to the welfare of the salmon has become a larger and larger issue. To combat this situation, the industry as well as the Norwegian government has been developing a range of different technologies.

In this thesis the effect these technologies can have on the external costs, and how they can continue developing been explored. The focus has been placed on salmon lice, farmed salmon in the salmon rivers, the release of nutrient salts and waste, as well as the land use. The technologies that were explored was inshore farms, offshore farms, land-based farms, semi-closed farms and closed farms in the ocean.

The results from this study for the spread of sea-lice between farms for a concession of 780 tons yielded the following results. Inshore farm and the semi-closed farms had a reduction in profits of 58.6%, the offshore farms a reduction of 57.5% and both of the closed alternatives had zero reductions in income.

For the 5 national salmon rivers studied, the costs, that being the reduction in income was also evaluated. For the inshore and semi-closed farms, the reduction was 5.4 million, and for offshore farms 0.9 million, and as with sea-lice none for the two closed farms.

The land use of salmon farms also represents externalities, examples being loss of values represented by recreational activities, the nature itself, and the natural resources. In today's situation with many small farms, the land use is larger than what the most area demanding technology, land-based farms would use. indicating large possibilities to reduce the current land use.

## Liste over figurer:

Figur 1-1 Rømninger uten gjenfangst. [8] .....	3
Figur 1-2 Rømningshendelser og årsaker. [8] .....	3
Figur 1-3 Lakselusdata .....	4
Figur 2-1 Livssyklusen til villaks [16].....	8
Figur 2-2 Soneinndeling for oppdrettsanlegg 2020. [17] .....	9
Figur 2-3 FoU-utgifter innenfor havbruk 2001-2015 etter sektor for utførelse i MNOK. [18]	10
Figur 2-4 Åpent oppdrettsanlegg med luseskjørt. [Kunnskap, tekn...] .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figur 2-5 Salmar Ocean farm (Salmar hjemmeside) .....	12
Figur 2-6 Landbasert oppdrettsanlegg [25].....	13
Figur 2-7 Aquatraz' semi-lukkede oppdrettsanlegg. [28] .....	14
Figur 2-8 Akvafutures lukkede oppdrettsanlegg. [30] .....	15
Figur 3-1 Eksterne kostnader illustrert.....	17
Figur 3-2 Oppdrettslaks I norske vassdrag fra 2006-2018 .....	21
Figur 4-1 vekstfunksjon for en fornybar ressurs. ....	24
Figur 4-2 Prisutvikling for fersk/kjølnet laks 2016-2021] .....	27
Figur 4-3 Sannsynlighetsfordeling for antall lus.....	32
Figur 4-4 Biomasse og gjennomsnittstemperatur.....	34
Figur 4-5 Ringvirkninger fra laksefiske .....	36
Figur 5-1 Ekstern kostnad for varierende sensitivitetskoeffisient. ....	45
Figur 5-2 Eksterne kostnader og grensekostnad for profitt.....	46
Figur 5-3 Reduksjoner I betalingsvilje for ulike verdier for sensitivitet og andel rømt oppdrettslaks.....	48

## Liste over tabeller:

Tabell 1 Estimerte enhetskostnader pr kg/ fisk produsert der laserbehandling ble benyttet.[37] .....	19
Tabell 2 Produksjonen av renseskjold fra 2015-2019 [39].....	19
Tabell 3 Estimerte kostnader for bruk av renseskjold [37].....	20
Tabell 4 Variabler fra lakseprisen 2016-2021 [48] .....	27
Tabell 5 Kostnader ved produksjon av oppdrettslaks [49] .....	28
Tabell 6 Annen driftskostnad pr. kg. produsert oppdrettslaks. [49].....	28
Tabell 7 Antatt sammenheng mellom lakselus per smolt og dødelighet [4] .....	30
Tabell 8 sensitivitetskoeffisient for ulike teknologier. ....	34
Tabell 9 VF3, vekstrate for smolt .....	35
Tabell 10 Fangststatistikk for nasjonale lakseelver i Sognefjorden [61] *AVG er gjennomsnitt fra tabellen. ....	38
Tabell 11 Data for utvalgte lakseelver [41] [62]. ....	38
Tabell 12 Smittekoefisienter for smitte til villaks .....	39
Tabell 13 Inndeling av risikosoner for utslipp av næringsalter. [63] .....	41
Tabell 14 Variabler for de ulike oppdrettsteknologiene. ....	44
Tabell 15 Profitt og eksterne kostnader knyttet til lakselus .....	44
Tabell 16 Eksternaliteter for lakselus hos villaks og rømt oppdrettslaks.....	46
Tabell 17 Smittekoefisienter for de ulike oppdrettsteknologiene.....	47

## Nomenklatur:

$x$ =Biomasse pr. tid

$K$ = Bæreevnen

$r$ =Vekstrate

$h$ = Fangsrate

$E$ = Fiskeinnsatsen

$q$ = Fangstfaktoren

$K_0$  = Grunnleggende bæreevne

$S$ = Akvakulturproduksjon

$G(x)$ = Veksten av laksen i et oppdrettsanlegg

$R$ = Inntekter

$p$ = Prisen for oppdrettslaks

$c$ = Kostnaden for å produsere

$\varphi$ = Sensitivitets koeffisient for bæreevnen

$R_{uten}$  = Inntekter uten eksternaliteter

$E_1$  = Eksterne kostnader fra lakselus mellom oppdrettsanlegg

WTP= «Willingness to pay»-Betalingsvilje

$E_2$  = Eksterne kostnader fra lakselus og rømt oppdrettslaks i lakseelver

$E_{Lus i villaks}$  =Eksterne kostnader fra lakselus hos villaks

$E_{Rømt oppdrettslaks i elver}$  =Eksterne kostnader for rømt oppdrettslaks i lakseelver

## Innhold:

Sammendrag: .....	i
Abstract: .....	ii
Liste over figurer: .....	iii
Liste over tabeller:.....	iv
Nomenklatur: .....	v
Forord:.....	viii
1. Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Villaks.....	1
1.3 Utfordringer i dagens oppdrettsnæring .....	2
1.3.1 Genetisk interaksjon og rømning:.....	2
1.3.2 Sykdom:.....	4
1.3.3 Forurensning og utslipp:.....	5
1.3.4 Utnyttelse av egnede områder: .....	5
1.3.5 For og bruk av forressurser: .....	5
2. Oppdrettsnæringen og ulike teknologier .....	7
2.1 Historie: .....	7
2.2 Akvakulturloven.....	8
2.2.1 Hensikt.....	8
2.2.2 MTB .....	8
2.2.3 Trafikklyssystemet.....	9
2.3 FoU innen oppdrettsnæringen .....	10
2.4 Oppdrettsteknologier .....	11
2.4.1 Innaskjærs: .....	11
2.4.2 Offshore:.....	12
2.4.3 Landbaserte anlegg .....	12
2.4.4 Semi-lukkede løsninger: .....	13
2.4.5 Lukket løsning i sjø: .....	14
3. Eksternaliteter.....	16
3.1 Hva er en eksternalitet? .....	16
3.2 Lus og parasittsykdommer .....	17
3.2.1 Mekanisk rens .....	18

3.2.2	Rensefisk:.....	19
3.2.3	Medikamentell/forbasert behandling:.....	20
3.3	Rømning og genetisk interaksjon .....	20
3.4	Arealbruk og utnyttelse av egnede områder .....	21
3.5	Fôrbruk og utslipp av næringsalter .....	22
4.	Bioøkonomisk modellering .....	23
4.1	Effekter av lus mellom oppdrettsanlegg: .....	23
4.2	Estimering av variabler til effekter av lus mellom oppdrettsanlegg .....	26
4.1.1	Lakseprisen $p$ .....	26
4.1.2	Kostnaden $c$ .....	28
4.1.3	Den grunnleggende bæreevnen $K_0$ .....	29
4.1.4	Fangstfaktoren $q$ og fiskeinnsatsen $E$ .....	29
4.1.5	Sensitivitetskoeffisient $\varphi$ .....	29
4.1.6	Vekstraten $r$ .....	34
4.3	Kostnaden av lakselus og rømt oppdrettslaks i lakseelver.....	35
4.4	Utslipp av næringsalter og fôrbruk .....	40
4.5	Arealbruk .....	42
5.	Resultater.....	44
5.1	Modell for smitte mellom oppdrettsanlegg:.....	44
5.2	Kostnaden av lakselus og rømt oppdrettslaks i lakseelver.....	46
5.3	Utslipp av næringsalter og fôr .....	48
5.4	Arealbruk .....	49
6.	Diskusjon .....	50
6.1	Lusesmitte mellom oppdrettsanlegg.....	50
6.2	Lakselus og rømt oppdrettslaks i lakseelver.....	51
6.3	Utslipp av næringsalter og fôr .....	51
6.4	Arealbruk .....	52
6.5	Andre teknologiske fremskritt, og veien fremover .....	53
7.	konklusjon.....	54
8.	Videre arbeid.....	56
9.	Kilder: .....	57



## Forord:

Denne oppgaven ble skrevet som fullførende del av masterløpet ved studiet Industriell økonomi ved Universitetet i Stavanger. I løpet av arbeidet med denne masteroppgaven har jeg fått benyttet mye av kunnskapen jeg har tilegnet meg i løpet av mine 5 år i Stavanger.

Jeg vil takke venner og familie for støtte gjennom hele studieløpet.

Videre vil jeg også takke veileder Bård Misund.

Sivert Leikvoll

Stavanger 13.06.2021

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Oppdrettsnæringen og spesielt lakseoppdrett har etter hvert fått en viktigere og viktigere rolle i norsk næringsliv. I 2018 resulterte sjømatnæringen i over 100 milliarder kroner i verdiskaping. Med et grønt skifte nært forestående, vil inntekter og sysselsetting knytt opp mot havbruk bli viktigere enn noen gang tidligere. For å kunne gjøre dette vil produksjonen av laks også måtte øke.

I Norge er akvakultur, og dermed også lakseoppdrett sterk regulering i akvakulturloven. Hensikten med denne loven er som følger: «Loven skal fremme akvakulturnæringens lønnsomhet og konkurransekraft innenfor rammene av en bærekraftig utvikling, og bidra til verdiskaping på kysten.» Denne loven bygger grunnlaget for blant annet trafikkløssystemet, konsesjoner, og andre regulerende tiltak.

For å kunne fortsette å drive næringen i en mer bærekraftig retning er innovasjon og ny teknologi både en nødvendighet, men representerer også mange muligheter. Hensikten med denne oppgaven blir derfor å utforske et knippe av disse teknologiene, og hvordan disse påvirker eksterne faktorer, og kan spare samfunnet og andre aktører for kostnader.

## 1.2 Villaks

Laksen er en anadrom fisk i laksefamilien, noe som innebærer at fisken migrerer mellom ferskvann og saltvann. Det finnes også unntak på den anadrome tilværelsen, der noen fisk aldri vandrer fra vassdragene og ut i havet, men dette er unntaket heller enn regelen. Laksens livssyklus er sammenlignet med mange andre dyr svært komplisert og sårbar for endringer i habitatet.

Selve gytingen skjer i vassdrag og elver, der eggene fester seg i bunnen, og deretter klekkes. Etter klekkingen oppholder lakseyngelen seg i vassdragene i alt fra 1-4 år, der fisken smoltifiseres, noe som innebærer at den utvikler egenskapene til å overleve i saltvann. I ferskvann vil fisken selv være saltere enn vannet, noe som innebærer at vannet trenger inn i fisken, og at den selv må skille dette ut. For en tilværelse i saltvann er det motsatt, og fisken må nå spare på væske for å opprettholde en balanse[1]. Videre vil laksen vokse i havområder, før den etter å ha nådd kjønnsmoden alder returnerer til vassdragene for å selv gyte. Reisen opp vassdragene er for mange laks en svært krevende prosess, noe som fører til

at under 10% av hunn-laksen gyter mer enn en gang [2]. Med genetiske forandringer som resultat av kryssparring mellom villaks og oppdrettslaks, er det observert klar reduksjon i reproduksjonsevner[3].

Selve utvandringen og evnen til å overleve dette er også en utfordring for laksen, der den fra naturens side har en høy grad av dødelighet. Den naturlige dødeligheten er estimert for norsk villaks til å ligge rundt 90%, med så høy naturlig dødelighet er arten sårbar for videre påvirkning. Luseindusert dødelighet har også evnen til å påføre lakseelver store skader, der det i produksjonsområdet 4, som strekker seg fra Nordhordaland til Stadt er estimert dødelighet fra bare 1% helt opp til 43.8% [4]. Den store forskjellen fra beste til verste scenario er grunnet smittemodelleringen, der veksten av lus er eksponentiell om den først får et godt feste i en bestand.

I Norge har Laksen i lang tid vært utsatt for kritiske inngrep, der regulerte vassdrag, og hydrokraft i mange år har hatt negativ innvirkning på laksen. Med større og større press fra oppdrettslaks er villaksen sin sårbarhet ytterligere forsterket[5].

### 1.3 utfordringer i dagens oppdrettsnæring

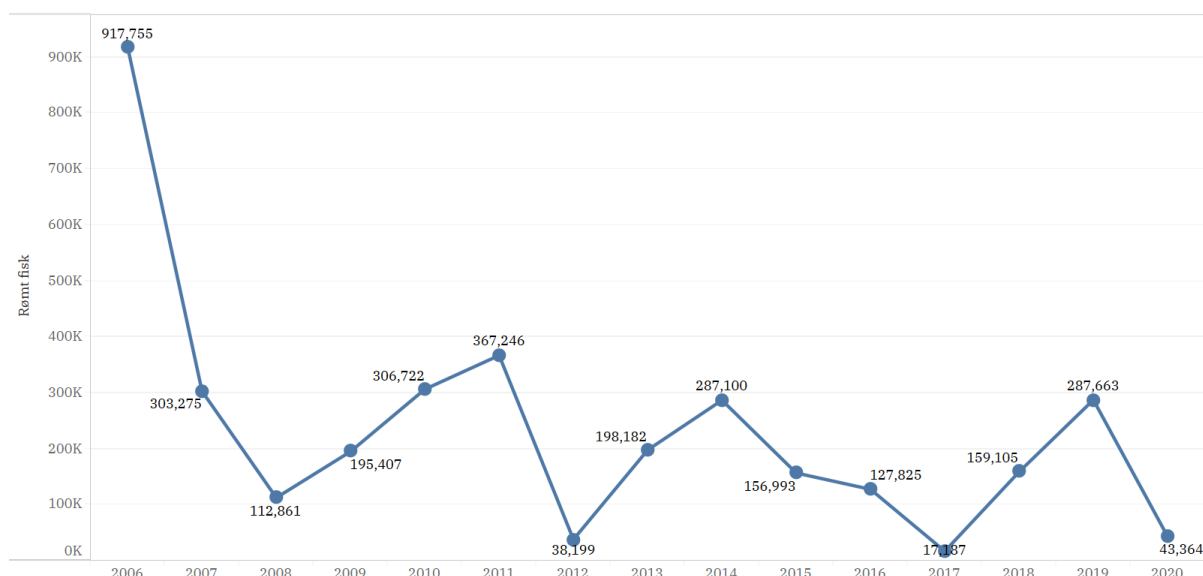
I dagens situasjon er lakselus, rømning og andre aspekter relatert til fiskehelse de begrensende faktorene for å øke produksjonen. Ifølge en rapport skrevet for «institute of marine research» er de fem viktigste aspektene som truer oppdrettsnæringen som følger[6]:

#### 1.3.1 Genetisk interaksjon og rømning:

Laks som rømmer fra oppdrett har et annet genetisk avlsmateriale enn villaksen, og vil kunne påvirke de ville bestandene negativt. Egenskapene til villaksen er etter tusenvis av år med gyting og elvevandring svært godt tilpasset akkurat disse omgivelsene. Oppdrettslaksen har på sin side blitt avlet frem til hurtig vekst, men likevel vil også den søke elver for å gyte, og dermed blande det genetiske materialet sitt med villaksen sitt, og dermed true bestanden av villaks[7]. Rømning har vært et fokusområde for oppdrettsnæringen i lengre tid, og det er blant annet utarbeidet egne standarder som NS 9415, som beskriver krav til både utstyret byggemåte, samt vedlikehold. Likevel forekommer fremdeles rømning fra oppdrettsanlegg i store tall, illustrert i Figur 1-1 ser man også at antall rømte fisk varierer stort. Grunnen til dette er størrelsen på merdene, som kan inneholde så mye som 200 000 laks, som i verste fall kan rømme på en gang.

## Rømminger 2006-2020 uten gjenfangst

Fltrer på art: Laks



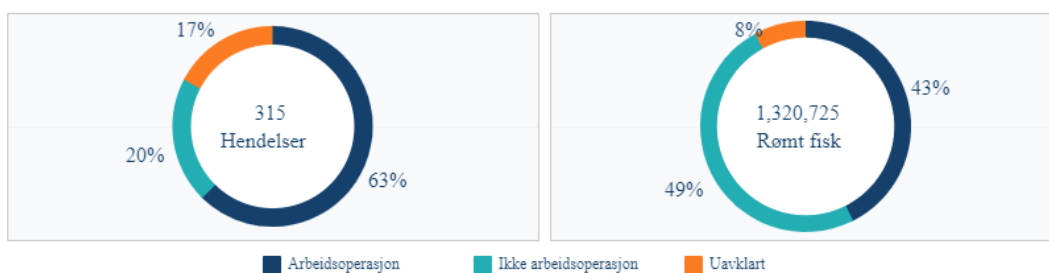
Oppdatert hvert 15.minutt



Figur 1-1 Rømminger uten gjenfangst. [8]

Årsakene til at så store mengder fisk rømmer fra merdene varierer, men som illustrert i Figur 1-2 ser vi at antall hendelser knyttet til rømminger i stor grad er knyttet til arbeidsoperasjoner, men ikke nødvendigvis at mengden rømt fisk tilsvarer dette. I undergruppen arbeidsoperasjoner ligger det blant annet aktiviteter knyttet til behandling av lakselus, samt ved uttak av fisk fra anleggene.

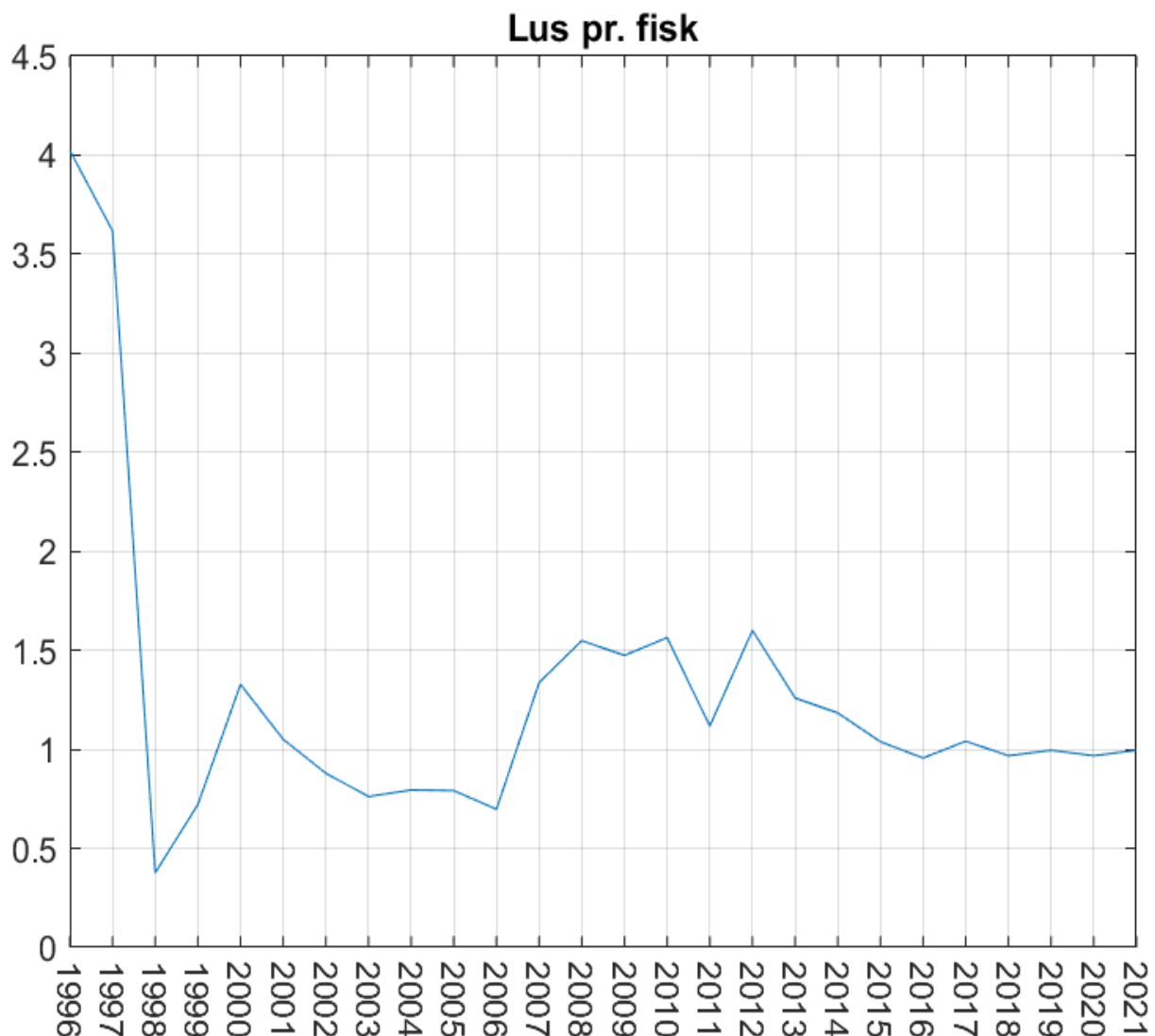
## Rømming tilknyttet arbeidsoperasjoner 2014-2020



Figur 1-2 Rømningshendelser og årsaker. [8]

### 1.3.2 Sykdom:

Sykdommer og parasitter er for lakseoppdrett et stort problem, som det brukes store ressurser på å bli kvitt. Som vi har fått erfare fra Covid-pandemien er avstand og renslighet svært viktige midler for å unngå smitte, det samme gjelder også for laksen. Der høy befolkningstetthet, og mengden oppdrettslaks utgjør dermed et problemområde. For oppdrettslaks er det mye større tetthet, og mindre sirkulasjon av vann, enn for en villaks noe som legger grunnlaget for smittebobler. For lakselus har det blitt satt i gang strenge retningslinjer fra myndighetene sin side for å redusere mengden lakselus.



Figur 1-3 Lakselusdata

[9]

Spesielt lakselus er blitt et fokusområde for norsk oppdrettsnæringen, da den har stor påvirkning både økonomisk og biologisk på vill og oppdrettslaks. Med utvikling av ny

teknologi, og større fokus på problemet har lusen blitt mindre vanlig, noe som er illustrert i Figur 1-3, men problemene med lus er fremdeles alvorlige for oppdrettsnæringen.

### 1.3.3 Forurensning og utslipp:

Produksjon av mat utgjør ca. 1/3 del av verdens CO<sub>2</sub> utslipp, av dette er det både transport, og selve produksjonen tatt med [10]. Laksen er sammenlignet med f.eks. rødt kjøtt et bedre alternativ, for 1 kilo storfekjøtt konsumert i Paris utgjør 30 CO<sub>2</sub> ekvivalenter, der laks spist samme sted kun utgjør 2.5 ekvivalenter. Til tross for dette har laks fremdeles store muligheter til å utnytte ressursene bedre, dette kan være ved hjelp av mer effektiv transport, bedre utnyttelse av forressurser eller mer effektiv drift av anleggene.

En annen problemstilling er mengden bioavfall og næringsalter som ender opp på havbunnen under åpne merder, dette gir god grobunn for alger, som deretter dør, og brytes ned i en oksygenkrevende prosess på bunn. For mange norske fjorder begynner dette å utgjøre et problem, da de typisk er terskelfjorder, og får dermed sjeldent skiftet ut vannet. For arter som typisk lever på dypt vann, som f.eks. rødlistede Uer, som i hovedsak holder til på 100-500 m. dybde, kan trykkforskjellen fra dypet, og de mer oksygenrike vannene være nok til å utgjøre en fare for arten [11].

### 1.3.4 Utnyttelse av egnede områder:

I dagens oppdrettsnæring er plassering av lokaliteter svært strengt regulert og styrt fra myndighetene. Dette er grunnet de mulige farene ved høy tetthet av oppdrett, og økt sannsynlighet for smitte av både sykdommer og parasitter. Samtidig er også oppdrettsnæringen avhengig av infrastruktur rundt lokalitetene, og spørsmål rundt bruk av naturområder til oppdrettsnæring satt opp mot friluftsliv og inngrep i naturen er blitt vanligere.

### 1.3.5 For og bruk av forressurser:

For å sikre god vekst innen oppdrettsnæringen har føret hele veien vært en av de viktigste fokusområdene. Å utnytte forressursene på best mulig måte er essensielt for å sikre en bærekraftig utvikling i næringen. Et mål som ofte er brukt for å se på dette er FIFO (Fish in Fish Out) som beskriver hvor mange kilo villfisk som må til for å produsere en kilo

oppdrettslaks [12]. Innholdet i fôret som stammer fra villfisk er typisk fiskemel eller fiskeolje, der det viktigste innholdet i disse ingrediensene er proteiner. Utviklingen her har vært positiv, der andelen fiskemel brukt har gått fra 4.4 kilo villaks pr kilo oppdrettslaks i 1990 til bare 1.0 i 2013[12].

I dagens fôrproduksjon kommer en økende mengde av proteinene fra soyabønner, og en minkende andel fra fiskemel. Den økende etterspørselen etter soya fører til en redusert mengde biomangfold, der store deler av brasiliansk skog er offer for såkalt LUC-Land Use Change. Utslippene knyttet til avskogingen kombinert med transporten av foringrediensene utgjør kun en andel av problematikken knyttet opp mot for og bruken av forressurser[13].

## 2. Oppdrettsnæringen og ulike teknologier

### 2.1 Historie:

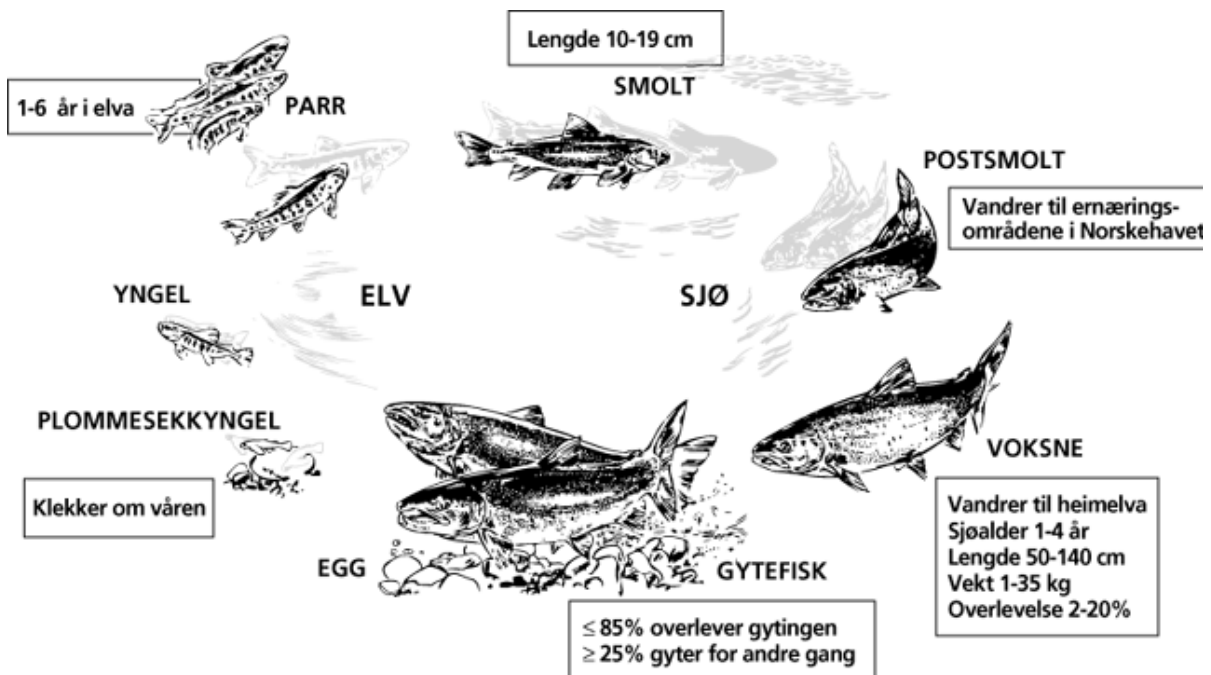
Historien til oppdrett av fisk kan strekke seg så langt tilbake i tid som 2-4000 år f.Kr., der karpe og lignende arter ble kultivert i Kina og Egypt. Det moderne oppdrettet i Norge legges ofte til et mye senere tidspunkt, der brødrene Ove og Sivert Grøntvedt i 1970 ble de første til å bruke flytemerder til oppdrett av laks. Før dette hadde lakseoppdrettet bestått av avstengte sund og poller, som til gjengjeld var svært kapitalkrevende, og hadde mer begrensende muligheter for plassering. Brødrene benyttet i starten en åttekantet flytemerd, som gjorde at laksen fikk bedre muligheter for naturlig bevegelse, og mer utskiftning av vann, som ga bedre vekst og biologiske betingelser for fisken[14].

Dette var ikke den eneste endringen brødrene gjorde, de begynte også å fore fisken om vinteren, dette til tross for at forskere sa at man ikke skulle fore fisken ved temperaturer på under 4 grader. Brødrene hadde selv erfaring som ringnotfiskere, og hadde opplevd å fange laks i Barentshavet, her oppdaget de at fisken hadde magen full av mat til tross for kaldt vann. Dette ble en suksess, og de fikk stor vekst på fisken, og hadde blant annet fisk i 12kg etter kun 18 mnd. I sjøen[14].

I dagens oppdrett er det hovedsakelig tre faser: stamfiskproduksjon, her gyter fisken, og rogn fra hunnfisken blir befruktet av melke fra hannfisken. Etter dette kommer settefiskproduksjon, som er fra rognen klekker, og går over til yngel. Dette er ferskvannsfasen, som skal emulere laksens tilværelse i vassdragene fra naturens side. Når fisken vokser, og etter hvert er i stand til å leve i saltvann, går man over til den siste fasen, matfiskproduksjon. Her fores fisken opp til slakteklar størrelse, før den sendes videre til slakt og produksjon av ulike lakseprodukter.

Illustrert i Figur 2-1 ser vi livsfasen for villaks, ut ifra tidsrammene beskrevet der ser man intensiteten oppdrettsnæringen har på veksten av fisken. Der villaks oppholder seg 1-6 år i elva, går oppdrettsfisken fra egg til smolt på så lite som et halvt år[15].





Figur 2-1 Livssyklusen til villaks [16]

## 2.2 Akvakulturloven

### 2.2.1 Hensikt

Som nevnt i kapittel 1 er hensikten med Akvakulturloven å fremme næringen, samt sikre en bærekraftig og god utvikling. For å sikre dette er konsesjon bevilgning, og strenge regler rundt plassering av oppdrettsanlegg svært viktig, både med tanke på sykdommer, men også for å sikre at plasseringen ikke påvirker nærmiljøet på andre måter. Det foreligger altså et stort ansvar på den enkelte aktør for å holde orden på alle aspektene næringen har på området den befinner seg i. I dag er kostnadene knytt opp mot å skaffe en konsesjon en av de største barrierene for å bli en del av oppdrettsnæringen.

### 2.2.2 MTB

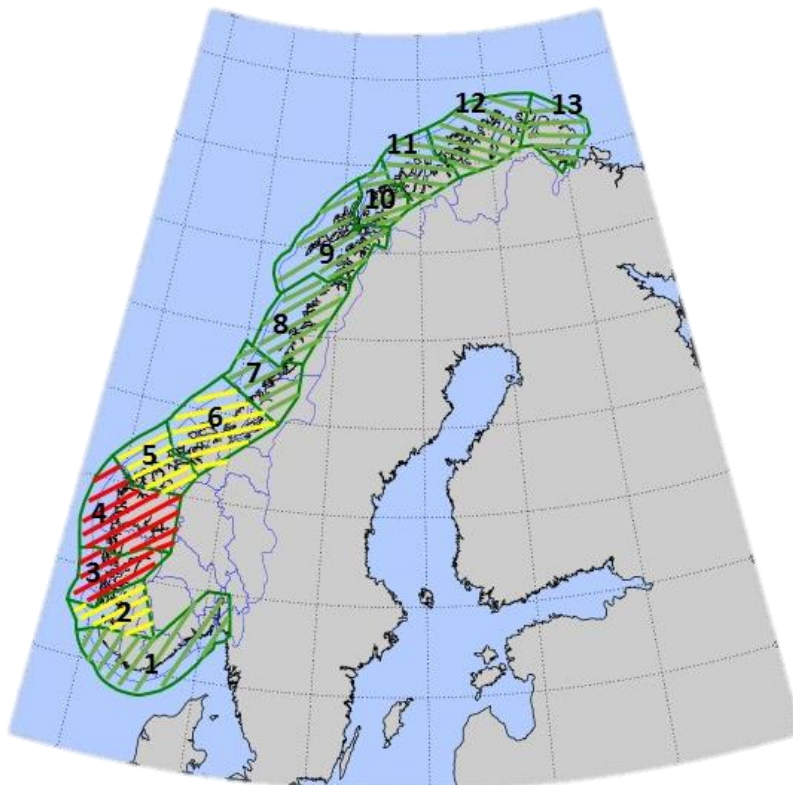
For oppdrett er reguleres mengden fisk i MTB, eller Maksimalt Tillat Biomasse, dette er definert «Den til enhver tid stående biomasse av levende fisk (målt i kilo eller tonn).». Dette reguleres på både selskap og lokalitetsnivå, altså at et selskap har mulighet til å fordele massen ulikt så lenge det holdes innenfor de satte grensene for den enkelte lokalitet. Dagens ordning med måleenhet i MTB ble innført i 2005, og erstattet da et tidligere system basert på en kombinasjon av forkvoter og begrensninger på volum i merdene. For oppdrettsanlegg innen laks og ørret ligger en standard tillatelse på 780 tonn, med unntak for Troms og Finnmark, som kan ha 945 tonn MTB.

### 2.2.3 Trafikklyssystemet

Trafikklyssystemet bygger rundt reduksjonen av lakselus, og består av enten rødt, gult eller grønt lys. Betydningen av disse er som følger:

- Grønt lys: Her er områder med lav smitte og sykdom som følge av lakselus, og oppdrettere her kan øke MTB med opptil 6%.
- Gult lys: Her er det moderat til lav smitte og sykdom som følge av lakselus, og oppdrettere her har ikke mulighet til å øke produksjon, men får heller ingen pålegg om reduksjon.
- Rødt lys: Her er det høy smitte og sykdom som følge av lakselus, og alle oppdrettere er pålagt en reduksjon på 6% av MTB.

For å effektivt kunne bestemme hvilke bestemmelser som gjelder visse områder, er kysten delt opp i 13 områder, illustrert i Figur 2-2.



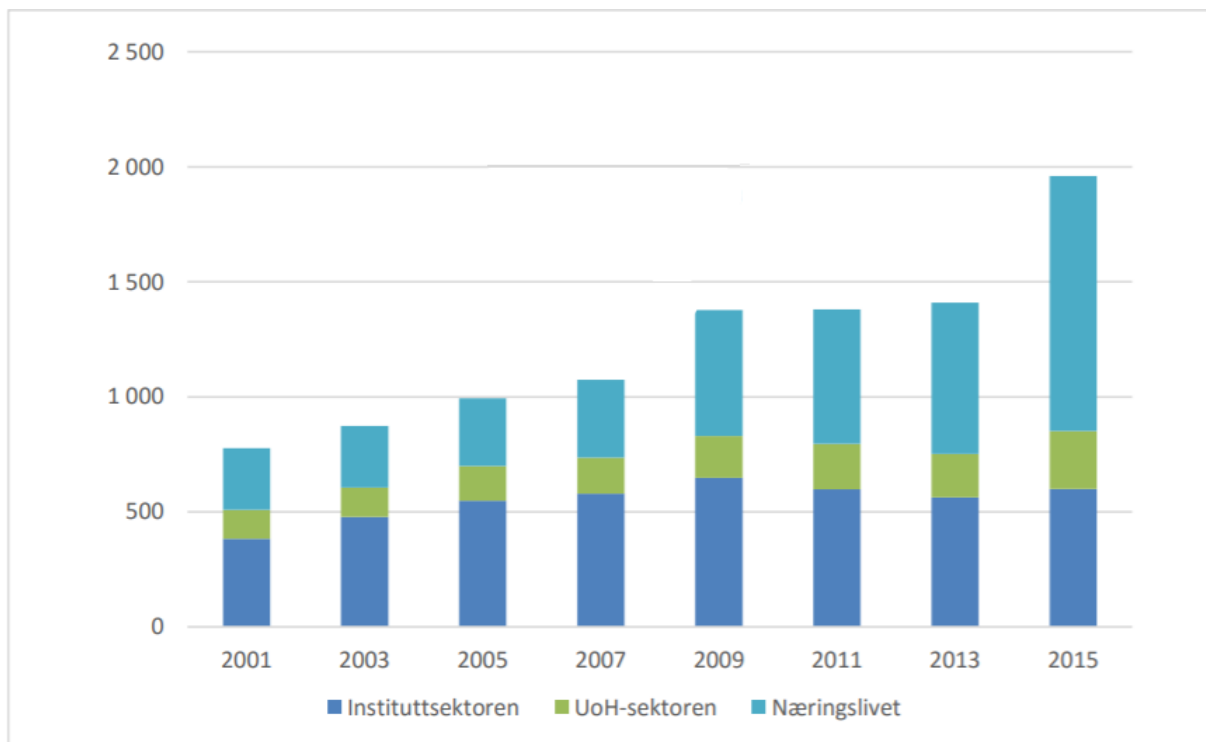
Figur 2-2 Soneinndeling for oppdrettsanlegg 2020. [17]

Inndelingen er basert på smittepresset fra lakselus. Som nevnt over er lusen avhengig av strømmer, eller umiddelbar nærhet for å smitte andre. Dette er det som ligger i grunn for

inndelingen av sonene på kartet over, der havstrømmer gjør at disse områdene i en større grad er adskilt fra hverandre når det kommer til smitte.

### 2.3 FoU innen oppdrettsnæringen

Forskning og utviklingsaktiviteter har helt siden oppdrettets oppstart med brødrene Grøntvedt har innovasjon vært et fokusområde. Med strenge reguleringer, og et økende behov for produksjon kombinert med færre større aktører har ressursbruken på FoU aktiviteter også økt. Illustrert i Figur 2-3 ser vi også at det private næringslivet også har intensifisert utviklingen. Det er også verdt å nevne at tallene for 2017 og 2019 foreløpig ikke er tilgjengelige, og med trafikklyssystemets inntredelse i 2017 vil det være naturlig med enda større aktivitet for å sikre stabil drift.



Figur 2-3 FoU-utgifter innenfor havbruk 2001-2015 etter sektor for utførelse i MNOK. [18]

For oppdrettsnæringen må man som nevnt tidligere ha konsesjoner for drift, for et forsknings og utviklingsprosjekt er det mulig å få en vederlagsfri konsesjon, bedre kjent som en FoU-konsesjon. En slik konsesjon gjør at oppdrettere kan få testet nye prosjekter i praksis før det eventuelt skaleres opp til større produksjonsmengder. Fra 2016-2021 fikk Fiskedirektoratet inn 104 søknader til slike konsesjoner, der 21 er tildelt, og 2 søknader fremdeles er under vurdering[19].

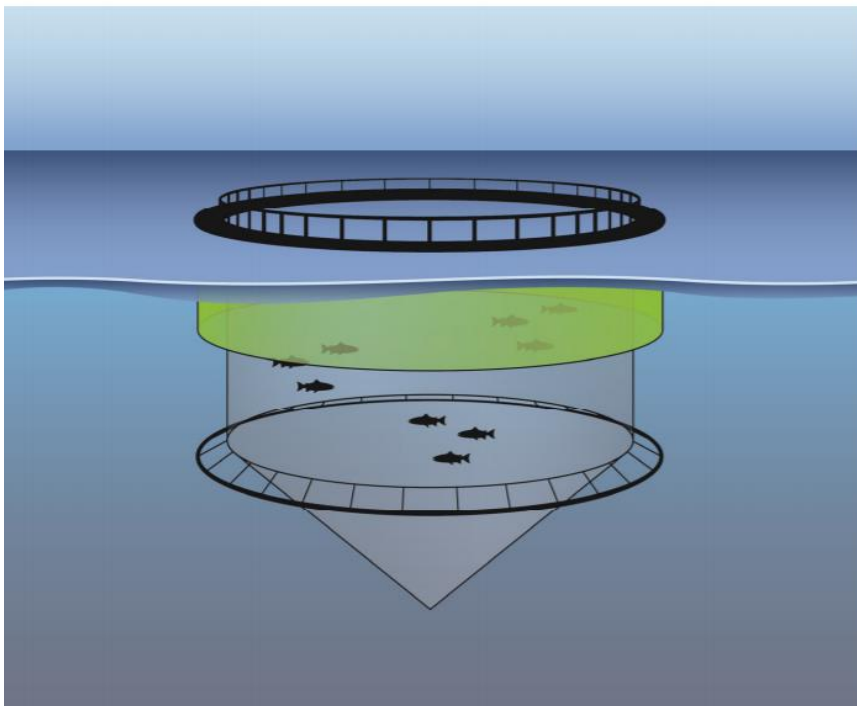
## 2.4 Oppdrettsteknologier

Se på mange samme sted, ser høy tetthet av utviklingskonsesjoner i Trøndelag, så et utgangspunkt i den fjorden vil være bra. Spesielt med tanke på lakseelver der også.

Oppdrettsnæringen og teknologien benyttet her er i en rivende utvikling, med mange ulike teknologier. I denne oppgaven har jeg valgt å sette søkelys på fem ulike typer beskrevet under:

### 2.4.1 Innaskjærs:

En flytemerd innaskjærs er nok det de fleste av oss ser for seg om man snakker om oppdrettsanlegg. Disse består hovedsakelig av tre deler som illustrert i Figur 2-4; en notpose, et flyteelement og et hoppegjerde.



Figur 2-4 Åpent oppdrettsanlegg med luseskjørt [20]

En flytemerd vil også kunne ha andre elementer, slik som et luseskjørt. Det er denne teknologien som først ble brukt, og som også til dags dato utgjør det tradisjonelle oppdrettet[21]. Det er uten tvil denne typen oppdrettsteknologi som er mest vanlig langs norskekysten, og det er denne teknologien jeg kommer til å bruke som referanse i min analyse.

#### 2.4.2 Offshore:

For et land som Norge, med høy kompetanse på offshore anlegg og teknologier, har vi tidlig startet med utvikling av denne typen oppdrettsanlegg. Offshore oppdrettsanlegg er inne i en sterk utviklingsfase, det mest kjente eksempelet er nok Salmar's «Ocean farm» dette er et offshore anlegg med en diameter på 110m, høyde på 69m, og rommer hele 250 000 kubikk[22]. Et slikt anlegg vil ha klare fordeler med sin geografiske beliggenhet i forhold til spredning av eventuelle parasitter eller sykdommer, samtidig som det også kan unngå å bli påført smitte selv. Salmars Ocean farm gjennomførte fra 2015 en pilot på dette anlegget, der de blant annet ikke måtte avluse, men hadde noen problemer med slitasje og sår på fisken grunnet ugunstige uttaksområder, noe de senere ble kvitt ved hjelp av designendringer[23].



Figur 2-5 Salmar Ocean farm [24]

#### 2.4.3 Landbaserte anlegg

Landbaserte oppdrettsanlegg har vært i bruk i både smolt og postsmoltfasen i lengre tid, men nå er det også blitt mer og mer vanlig å ha fisk helt opp i slaktestørrelsen på ca. 5kg i oppdrettsanlegg på land. I slike anlegg er det klare fordeler, faren for lus, rømning og bortkastet næring i fôr skiller seg ut. Slike anlegg ligger stort sett i forbindelse med vann, da det er vanlig å bruke RAS (Resirkulerende akvakultursystemer) der opptil 99.9% av vannet kan bli resirkulert. Sjøvannet som brukes hentes ofte opp fra dypet, slik at det er fritt for lus

og andre parasitter[21]. Blant annet planlegger Sande Aqua å bygge ut et anlegg i Skipavika i Gulen, Sogn og Fjordane, som skal dekke produksjon helt fra smolt-fasen, og frem til matfisk, her hentes sjøvannet ut fra 80m dypde[25].

De fleste landbaserte anlegg bruker som nevnt RAS, og er derfor avhengig av å lokaliseres i nærheten av vann. Dette vil da føre til økt bebyggelse i strandsonen, noe som tydelig representerer en eksternalitet, da i forbindelse med arealbruk. Kort avstand til tradisjonelle brønnbåter for transport av fisk vil også være en grunn til at slike anlegg ofte ligger nærme sjøen. I tillegg vil arealet som kreves være mye større enn det en merd krever, dette grunnet at merdene har mye volum grunnet høy dypde, noe landbaserte anlegg må kompensere for ved å bruke kar med større areal. I Figur 2-6 ser vi et eksempel på et slikt anlegg, med den typiske plasseringen rett ved sjøen.

Der arealbruken kan være en negativ eksternalitet gir et slikt system full kontroll over alle interne faktorer, som fôrbruk, behandling av avfallsstoffer i tillegg til kvaliteten på vannet. Spesielt har riktig pH-verdi, temperatur og oksygenmetning stor betydning for både fiskevelferd og vekstforhold [26].



Figur 2-6 Landbasert oppdrettsanlegg [27]

#### 2.4.4 Semi-lukkede løsninger:

Semi-lukkede oppdrettsanlegg er ofte bygd på samme vis som vanlige flytemerder, men har ulike elementer som skiller de. For eksempel har vi Aquatraz' løsning, som i tillegg til

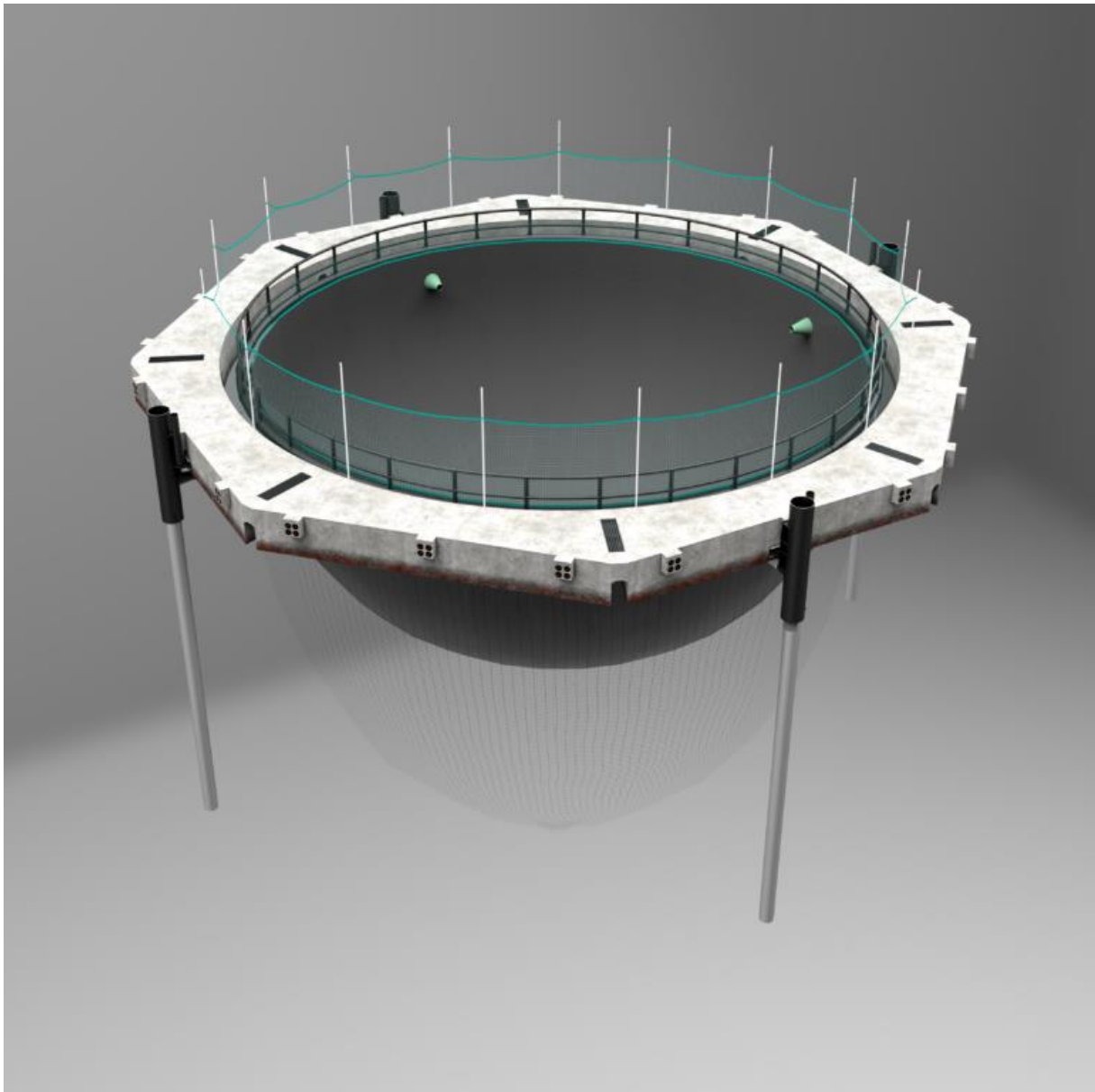
komponentene en standard merd, som beskrevet over, har 4. generasjonsmodellen også et 25m dypt luseskjørt, aktiv vannutskifting samt er hevbår. I praksis vil dette forhindre de øverste lagene med vann å komme inn i merdene, noe som videre antas å ville redusere mengden lus i merdene. I tillegg vil det dype luseskjørtet også hindre rømning, og den hevbare konstruksjonen gjøre både uthenting av matfisk, og rengjøring av noten enklere med den hevbare konstruksjonen[28]. Strukturen på merden sees tydelig i Figur 2-7 med sitt dype luseskjørt. Prosjektet er fremdeles i utviklingsfasen, og ifølge rapporter fra Aquatraz sin 2. og 3. generasjons merder, er det potensiale i teknologien, men påslaget og trykket fra lusen er ikke signifikant forskjell på i forhold til kontrollmerd[29].



Figur 2-7 Aquatraz' semi-lukkede oppdrettsanlegg. [30]

#### 2.4.5 Lukket løsning i sjø:

Lukkede anlegg i sjø er i likhet med de landbaserte avhengig av å hente lusefritt vann fra dypet, som deretter pumpes ut i merdene. Slike anlegg har tidligere blitt omtalt som semi-lukkede, siden flere tidlige varianter slapp avfallsstoffene ut igjen i vannet [21], men nye anlegg, med Akvafuture som eksempel behandler avfallsstoffer, og bruker blant annet slammet til å produsere biogass [31]. I likhet med landbaserte anlegg er en slik metode i teorien fri for både rømning og lus/sykdommer grunnet full kontroll på alle innsatsfaktorer og ytre påvirkninger. Konstruksjonen til merden kan sees i Figur 2-8.



*Figur 2-8 Akvafutures lukkede oppdrettsanlegg. [32]*

Fra rapporter basert på Akvafuture sin teknologi får vi et godt innblikk i tall fra prosjektet med en slik merd i 2020. I løpet av denne testperioden fant de kun 1 lus i en merd som var i drift [33]. Det kommer også frem tall rundt gjenvinning av slam fra fôringen av fisken. I driftsåret 2019 brukte prosjektet 3530.8 tonn fôr, og gjenvant 75 tonn slam fra dette. Av dette var over 44% karbon, som i åpne anlegg hadde havnet rett i sjøen.



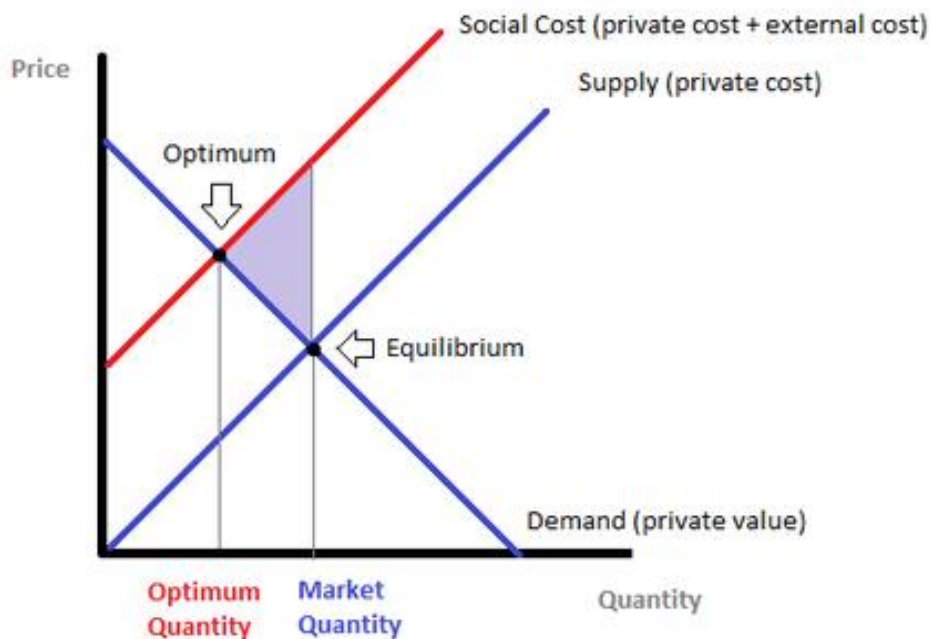
### 3. Eksternaliteter

#### 3.1 Hva er en eksternalitet?

Før jeg definerer hva en eksternalitet er, ønsker jeg å innføre begrepet «public good», eller et offentlig gode. Å definere presist hva som skal inkluderes som eksternalitet kan diskuteres, men jeg kommer videre til å benytte Førsunds følgende definisjon: «*Eksterne effekter er direkte virkninger andre forbrukeres konsum og/eller andre bedrifters produksjon har på en bedrifts tekniske produksjonsforhold og/eller på en forbrukers nyttenivå. Virkningene karakteriseres ved at den som rammes ikke kan unngå de eksterne effektene uten bruk av ressurser. Effektene er ikke tilsiktet av de som forårsaker dem.*» Dette legger et grunnlag for å videre utforske hvordan ulike oppdrettsteknologier kan påvirke eksternalitetene som er forbundet med oppdrettsnæringen.

I praksis blir ofte eksternalitetene delt i to kategorier, enten konsum eller produksjonseksternaliteter. I denne oppgaven kommer vi til å se på de produksjonsrelaterte eksternalitetene, og ikke hvordan konsumentene eventuelt drar fordel av å konsumere laks. For denne type eksternalitet har vi også to undergrupper, produksjon-konsum og produksjon-produksjon. Dette vil i vårt tilfelle gjelde eksternalitetene som påvirker andre i oppdrettsnæringen og effekten på privatpersoner, som f.eks. mindre fisk til sportsfiske, eller begrensinger på bruk av arealer.

Innen produksjon vil det i en situasjon der det er eksternaliteter være to optimale produksjonsmengder for produksjon, enten det sosiale optimum, som tar hensyn til alle eksternaliteter, eller det private optimumet, som kun tar hensyn til selskapets egne kostnader. Som vist i Figur 3-1 som illustrerer negative eksternaliteter, vil det være en forskjell i kvantitet produsert om man tar hensyn til eksternalitetene i produksjonen. Det blåe skraverte området viser den ekstra profitten selskapet i dette tilfellet fikk ved å ikke ta hensyn til eksternalitetene. Denne summen vil i dette tilfellet være kostnaden knyttet opp mot eksternalitetene. På samme måte kan det også forekomme positive eksternaliteter, som blant annet kan være agglomerasjonseffekter, som kunnskapsdeling på tvers av bedrifter eller innovasjoner innen teknologi med muligheter på tvers av fagfelt.



Figur 3-1 Eksterne kostnader illustrert [34]

### 3.2 Lus og parasittsykdommer

Lakselusen er en parasitt som naturlig finnes langs norskekysten, men har i takt med veksten innen oppdrettsnæringen også steget i populasjon. Lusen lever normalt i saltvann, og vil etter hvert som laksen reiser i elver med ferskvann falle av, men under laboratorieforsøk har det blitt vist at den kan henge på så lenge som 14 dager i ferskvann[35]. Lusens livnærer seg hovedsakelig av blod, slim og hud fra laksen, dette vil over tid påvirke laksen negativt, der sår og svekkelser av fiskens immunsystem øker risikoen for sopp, virus og andre infeksjoner[35].

Ved den økte tettheten av oppdrettsanlegg, har lusen fått bedre vekstforhold, og økt mulighet til å spre seg mellom oppdrettsanlegg, i tillegg til å påvirke den ville laksebestanden. Lusen klekkes vanligvis rett ut i vannet, der den i denne fasen lever i om lag 150 døgngrader (døgndager er et begrep som består av antall døgn\*temperatur, eks: 5 dager i 10 grader=50 døgngrader). I disse 150 døgngradene vil lusen hovedsakelig spres av havstrømmer, da maksimal svømmehastighet ligger på 2.5-3.5 mm/s. til sammenligning ligger en gjennomsnittlig havstrøm på nærmere 0.3m/s. Med andre ord, så er lusen i stor grad avhengig av strømforhold for å kunne spres rundt. Strømmene som i stor grad styrer

denne spredningen har ulike karakteristikk inne i fjorder, og i mer åpne områder. Der strømmen er svært variabel i mer åpne havområder, er den i fjorder og bukter er den mer forutsigbar, og data rundt dette benyttes når områder for oppdrettsanlegg bestemmes[36].

Behandlingen mot lus er beregnet til å koste næringen over 5.2 mrd. NOK i 2017, noe som sammenlignet med tallene fra. Behandlingen deles i hovedsak opp i medikamentelle og ikke-medikamentelle behandlinger, der førstnevnte innebærer oftest enten tilsetninger i foret til fisken, eller bad i rensende stoffer. Ulempen med en slik behandling er at det nesten aldri vil være mulig å kvitte seg med all lus på denne måten, og at de som er igjen er de mest resistente mot de brukte midlene. Dette vil igjen medføre at lusen som er mest resistent kan utvikle seg, og at genene som koder denne toleransen vil spre seg til den videre lusebestanden[37]. Når det kommer til ikke-medikamentelle midler, peker mekanisk rens og bruk av renseskål seg ut som de to store behandlingsmåtene.

Der effekten av lakselus påvirker oppdrettslaksen negativt, er effektene kanskje enda mer alvorlige for den sårbare villaks-stammen. Villaksen opplever i stor grad de samme konsekvensene som oppdrettslaks, i tillegg til at den reproduktive evnen blir påvirket. Der oppdrettslaksen får behandling, og i høyest mulig grad holdes fri for lus, mangler den ville bestanden dette. Bare mellom 2010-2014 er det beregnet at villaks-bestanden led tap på ca. 10% grunnet lus[38].

### 3.2.1 Mekanisk rens

Mekanisk rens av fisk for å redusere lakselus kan gjøres på flere ulike måter. De vanligste mekaniske er enten ved hjelp av høytrykkspylere, termisk behandling, som innebærer varmebehandling for å fjerne lusen eller bruk av laser.

Bruken av laser for avlusing fungerer ved at en presis laser sender pulser direkte mot lusen, noe som skal ha dødelig utfall for. I motsetning til både termisk og høytrykksbehandlinger skal dette ikke påføre fisken hverken stress eller skader, og dermed kunne øke laksevelferden ved avlusningsbehandlinger.

Nofima gjennomførte i 2017 en studie på kostnadene knyttet til en slik laserbehandling, og kom frem til resultatene gitt i Tabell 1. Som tabellen viser er kostnadene sterkt knyttet opp mot avskrivninger av utstyr, og er dermed sterkt avhengig av kostnadsutviklingen til utstyret i årene som kommer. Som en innovativ, og relativt lite utprøvd teknikk, vil det også være

usikkerhet knyttet til effektivitet og om teknologien kan utføre behandlingen like effektivt og trygt som produsenter påstår.

	Enhetskostnad	Forutsetninger
Avskrivninger	0,60	10 stk./lokalitet, 0,7 mill. kr/stk., 5 år
Alternativkostnad kapital	0,13	5 %
Arbeidskraft	0,03	3 mndverk over 18 mndrssyklus
Serviceavtale	0,56	150' kr/år
Sum	1,32	

Tabell 1 Estimerte enhetskostnader pr kg/ fisk produsert der laserbehandling ble benyttet.[39]

Termisk avlusning er som nevnt varmebehandling av luseinfestert laks, og fungerer slik at fisken blir varmet til om lag 30 grader i 20-30 sekunder. Dette skal føre til at lusen lammes og faller av, uten at eksponeringen for varmen er så stor at fisken selv blir varmebehandlet.

Dette er i likhet med laserbehandlingen

### 3.2.2 Rensfisk:

Rensfisk blir gjerne brukt som en samlebetegnelse på de vanligste fiskene som spiser lus, og dermed blir brukt som kontinuerlig rens av fisk i oppdrettsanlegg. Typiske fiskeraser som benyttes til dette er rognkjeks, samt leppefiskerarter, der berggylt, bergnebb og grøngylt er noen av de vanligste. Bruken av rensfisk strekker seg helt tilbake til sent på 1980-tallet, men kostnaden av dette har som vist i steget kraftig de siste årene, og næringen omsetter nå for over 1.3 mrd NOK[40]. Som vist i Tabell 2 har også antall rensfisk mer enn doblet seg fra 2015 til 2020.

År	2019		2018		2017		2016		2015	
	Antall	Verdi	Antall	Verdi	Antall	Verdi	Antall	Verdi	Antall	Verdi
Rognkjeks	42978	942746	31130	691379	29723	650257	16201	332062	10325	177076
Berggylt	2286	91471	3676	98961	2449	76373	2252	54605	869	19098
Bergnebb	7965	150858	7423	138771	11178	162635	5939	69284	2078	21112
Grøngylt	7218	121029	6300	109094	7731	105597	5102	66225	2768	32046
Gressgylt	588	8397	400	6669	-	-	-	-	-	-
Uspesifisert	0	0	0	0	3493	53670	7864	130174	10369	121372
Totalt/Total	61035	1314501	48929	1044873	54575	1048532	37359	652351	26409	370704

Tabell 2 Produksjonen av rensfisk fra 2015-2019 [41]

Fra en rapport av Nofima [39] kommer det frem følgende tall for estimert kostnad knyttet mot bruk av renseskjøl:

	Modellert enhetskostnad	Forutsetninger
Innkjøp renseskjøl	0,65	15 % total tilsatt, 18 kr/stk
Transport	0,07	2 kr/stk
Arbeid	0,27	1 mndverk/mnd, 18 mnd
Skjøl/fôrautomat	0,02	35.000 kr/merd
Fôr	0,04	2 % utfôring, 20 kr/kg
Ekstra notvask	0,19	6 ganger, 20.000 kr/merd
Sum estimerte poster	1,25	

Tabell 3 Estimerte kostnader for bruk av renseskjøl [39]

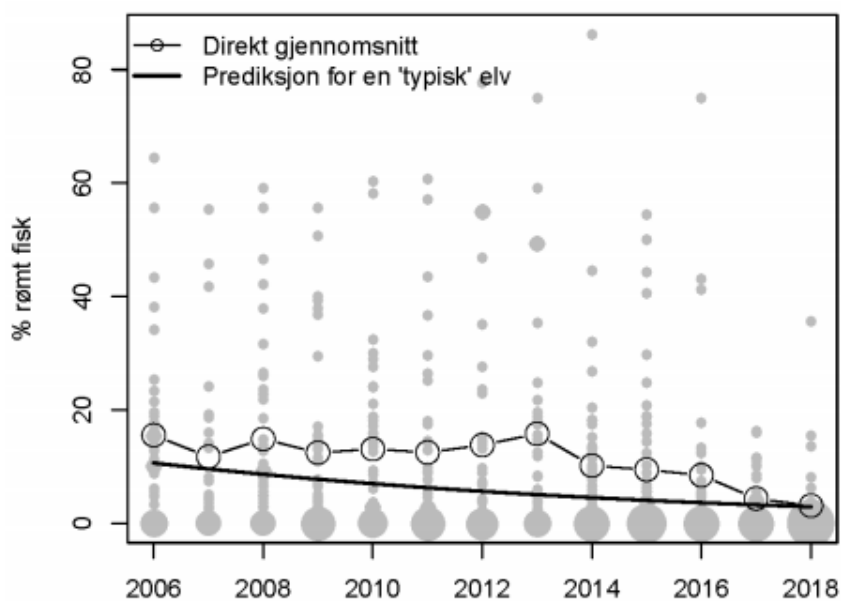
Tallene her er oppgitt i 2017 kroner, inflasjonsjustert ved hjelp av SSBs kalkulator med 3.1% inflasjon årlig utgjør dette i dagens penger 1.36 kr/kg.

### 3.2.3 Medikamentell/forbasert behandling:

Medikamentell og forbaserte behandlingsmetoder har over lengre tid vært de viktigste tiltakene for å sikre god fiskevelferd. Teknologien rundt fôret til fisken er som nevnt tidligere et område det brukes store ressurser på, både for å kunne ha et fôr som styrker fiskens evner til å stå imot sykdom og parasitter. Virkestoffer som konkret er for å bekjempe for eksempel lakselus er også tidvis brukt, men dette har vist seg å føre med seg egne problemer. Etter hvert som lakselusen blir utsatt for ulike virkemidler har lusene hatt evnen til å utvikle resistens mot disse virkestoffene.

### 3.3 Rømning og genetisk interaksjon

Som nevnt tidligere utgjør rømt oppdrettslaks og genetisk interaksjon en fare for evnen til overlevelse blant smolten som består av DNA fra både villaks og oppdrettslaks. For å hindre dette gjennomføres det målinger og kontroller i norske vassdrag, både ved hjelp av feller og sofistikerte målestasjoner, men også via innmelding fra sportsfiskere[42]. I Figur 3-2 ser vi andelen av rømt fisk som er registrert i norske vassdrag fra 2006 til 2018.



Figur 3-2 Oppdrettslaks i norske vassdrag fra 2006-2018

[43]

Sammenlignet med den rømte oppdrettslaksen vist i Figur 1-1 ser vi at det er et fåtall av den rømte laksen som finner veien opp i vassdragene. Samtidig representerer dette en mulig vekst av andelen oppdrettslaks og genetisk interaksjon i elvene.

Den faktiske effekten den genetiske interaksjonen mellom oppdrettslaks har på avkom, og evnen disse genetiske blandingene har til å overleve er kompleks, og avhengig av mange faktorer. I Norge har vi snart drevet med oppdrett i 50 år, og i løpet av denne tiden har egenskaper som laksens ytre, vekst, sykdomsresistens og fettfordeling blitt selektert frem i form av avl [44]. Samtidig som dette har foregått, har også andre egenskaper utilsiktet blitt endret, som aggresjon, stress og temperaturløtoleranser. Disse endringene er det i nyere tid bevisst at utsetter de genetiske blandingene for høyere grad av predasjon, og dermed høyere dødelighet [45].

### 3.4 Arealbruk og utnyttelse av egnede områder

Selv om Norge har en av verdens lengste kystlinjer er plasseringen av oppdrettsanlegg, og avveiningen rundt kost-nytte fremdeles et viktig poeng. Et gjennomsnittlig anlegg i dag er på ca. 120.000m<sup>2</sup>, legger man til alle anlegg i Norge, tilsvarer ikke dette mer enn 0.5% av arealet langs kysten. Det kan derfor virke som det er mer enn nok plass, men for å drive oppdrett må kriterier rundt vannkvalitet, strøm og dybde oppfylles. I tillegg er 4564 km<sup>2</sup> av norske fjorder også vernet, noe som utgjør ytterligere 5% av kysten, og det ofte egnede

områder[46]. Samtidig er områdene langs kysten ettertraktet blant privatpersoner, og til bruk innen friluftsliv og for vern av dyreliv.

I en undersøke gjennomført av Nofima var 63% av norske oppdrettere enig eller helt enig i følgende påstand: "Den viktigste utfordringen for min bedrift i dag er tilgang på lokaliteter som har tilstrekkelige dyp, god vannutskifting og god skjerming for vind og bølger."

Problemstillingen er altså en av de viktigste flaskehalsene i næringen i tillegg til et viktig poeng for det offentlige, og for å ivareta naturen.

### 3.5 Fôrbruk og utslipp av næringsalter

Utslipp av næringsalter, i stor grad nitrogen og fosfor utgjør en større og større trussel for artsmangfold og oksygenmengde i langs kysten, og spesielt i fjorder. For hvert tonn laks produsert slippes det direkte ut 5 kg fosfor og 39 kg nitrogen. Utslipet av disse stoffene gir svært god grobunn for algevekst, noe som igjen kan føre til masseoppblomstring av alger og andre planter, bedre kjent som eutrofi. Konsekvensen av dette vil være at den naturlige bæreevnen for disse artene er langt overskredet, noe som fører til massedød, og igjen nedbryting av denne biomassen, noe som er oksygenkrevende, og bidrar til oksygenmangel. Langs kysten i åpne områder med høy av grad av utskifting av vannet utgjør ikke dette et stort problem. I smalere fjorder, spesielt fjorder med grunne eller smale innløp, også kjent som terskelfjorder vil denne mangelen på oksygen kunne forårsake store problemer for artsmangfoldet.

Utslipp av næringsalter er ingen ny problemstilling, tidligere har landbruket stått for den største andelen av utslippene. Med den økende aktiviteten i oppdrettssektoren har dette nå blitt den største bidragsyteren til slike utslipp. Siden denne problemstillingen er kjent fra tidligere industrier, er det gjennomført flere studier og undersøkelser rundt de eksterne kostnadene knyttet til utslipp av næringsalter.

## 4. Bioøkonomisk modellering

Modellen skal ta hensyn til ulike faktorer, for å best mulig kunne sammenligne disse, ønsker jeg å bruke åpne merder innaskjærs som referanse, og se hvordan de ulike teknologiene er i forhold til denne, som i Norge er den mest brukte.

I denne modellen ønsker jeg å ta hensyn til eksternaliteter knyttet til: sykdom og parasitter, forbruk og biprodukter, rømning og genetiske blanding og agglomerasjon.

### 4.1 Effekter av lus mellom oppdrettsanlegg:

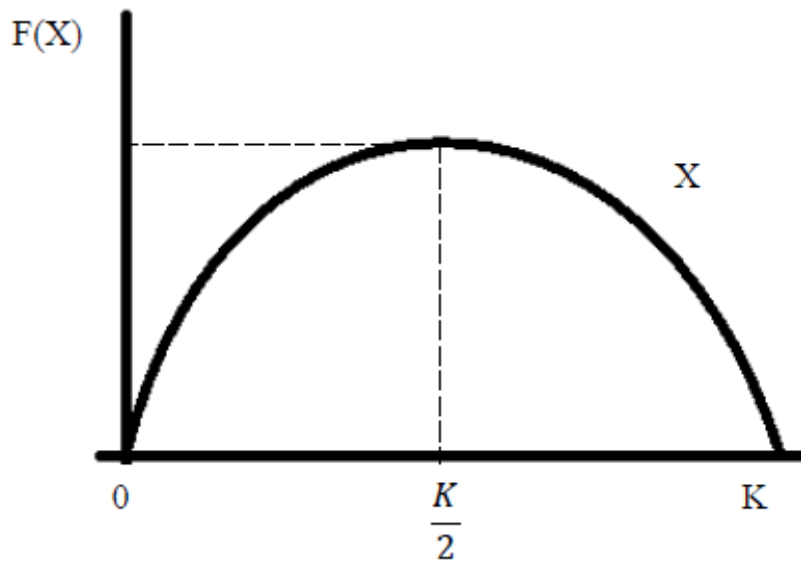
For eksternalitetene lus har ønsker vi å se effekten oppdrettslaksen har på andre lokaliteter, og spredningen av lus mellom dem. Først ønsker jeg å finne vekstraten til den naturlige bestanden beskrevet i formel (1). Den vanligste måten å regne på dette er ved å benytte en Pearl-Verhulst's modell, en logistisk vekstmodell beskrevet i Formel 2, hvor  $r > 0$  er iboende vekstraten,  $K > 0$  er bæreevnen og  $x$  er biomassen pr tid [47].

$$\frac{dx}{dt} = F(x) \quad (1)$$

$$F(x) = rx \left(1 - \frac{x}{K}\right) \quad (2)$$

Plottet vil formel (2) gi en kurve illustrert i Figur 4-1, som vi ser her er dette en konkav funksjon med et definitivt toppunkt, som gir den største vekstraten. Og den mest bærekraftige bestanden. Her ser vi toppunktet som gir høyest mulig vekst i bestanden er  $x = \frac{K}{2}$ , som denoteres som  $X_{msy}$ , der msy står for «max sustainable yield».





Figur 4-1 vekstfunksjon for en fornybar ressurs.

Videre vil vi ta hensyn til fangstraten  $h$ , for et perfekt scenario ville vi ha kunnet sette  $h = F(X_{msy})$ . Men det er flere faktorer som har innvirkning på raten, og derfor introduserer jeg formel (3), som definerer fangst ved hjelp av innsatsen  $E$ , som blant annet tar for seg intensiteten på fiske, og antall fiskedøgn. I vårt tilfelle med et oppdrettsanlegg, og enkel høsting av fisk blir denne konstanten en såkalt dummy konstant, og settes lik 1 i videre utregning, mer rundt dette i kapittel 4.4.3. Deretter kommer konstanten  $q$ , som illustrerer fangstfaktoren, hvor lett det er å fange fisken for videre foredling.

$$h = qEx \quad (3)$$

For å ta hensyn til effekten av eksternalitetene ønsker jeg å innføre en funksjon for variabelen for bæreevnen  $K$ . Her er  $K_0$  den grunnleggende bæreevnen til et oppdrettsanlegg,  $\varphi$  er en sensitivitets koeffisient for bæreevnen som er avhengig av akvakulturproduksjonen  $S$  [48].

$$K = K_0 - \varphi S \quad (4)$$

Ved å sette funksjon (4) inn i (1), og trekker fra (3), og får da et helhetlig uttrykk for veksten av laksen i et oppdrettsanlegg  $G(x)$ .

$$G(x) = rx \left( 1 - \frac{x}{K_0 - \varphi S} \right) - qEx \quad (5)$$

For en bærekraftig stamme vil vekstfaktoren være lik 0, som igjen resulterer i ligning (6), som beskriver den stabile mengden villaks.

$$x = \frac{r(K_0 - \varphi S)}{(r - qE)} \quad (6)$$

For å transformere vekstmodellen beskrevet over i økonomiske termer introduserer formel (7) i henhold til «Applied mathematical bioeconomics» [47], der R er inntektene, p prisen for fisken, og c er kostnaden pr innsats. Deretter innlemmes (6) i ligning (7), og (8) er et uttrykk for inntekt ved en bærekraftig mengde x. 1-

$$R = ph - cE = (pqx - c)E \quad (7)$$

$$R = Epq \frac{r(K_0 - \varphi S)}{(r - qE)} - cE \quad (8)$$

Dette blir da inntekten for et oppdrettsanlegg der effekten fra nærliggende anlegg er tatt hensyn til. For å finne reduksjonen i inntekt grunnet dette, ønsker vi å sammenligne med et anlegg der sensitivitetskoeffisienten  $\varphi = 0$ .

$$R_{uten} = Epq \frac{r(K_0)}{(r - qE)} - cE \quad (9)$$

Med denne modellen ser vi kostnader forårsaket av redusert kapasitet og inntekt, men lus fra andre anlegg vil også påløpe kostnader for det rammede anlegget i form av behandling mekanisk og medikamentell behandling av fisk for å redusere lusepåslaget.

Den konkrete kostnaden av eksternalitetene blir derfor beskrevet som i formel (10).

$$E_1 = R_{uten} - R \quad (10)$$

Her blir nøkkelen å beregne sensitivitetskoeffisienten  $\varphi$  med minst mulig avvik fra den reelle verdien. For å gjøre dette må området som studeres begrenses geografisk, dette vil da gjelde de oppdrettsteknologier som er bundet av geografisk beliggenhet, og påvirkningen av de lokale forholdene. For teknologiene som ikke er berørt av lokale forhold, vil eventuelle variabler beregnes etter produsentens anbefalinger eller krav. Endringen fra teknologi til

teknologi blir også reflektert i sensitivitetskoeffisienten, for å vise for sårbar hver enkelt teknologi er for smitte fra nærliggende anlegg.

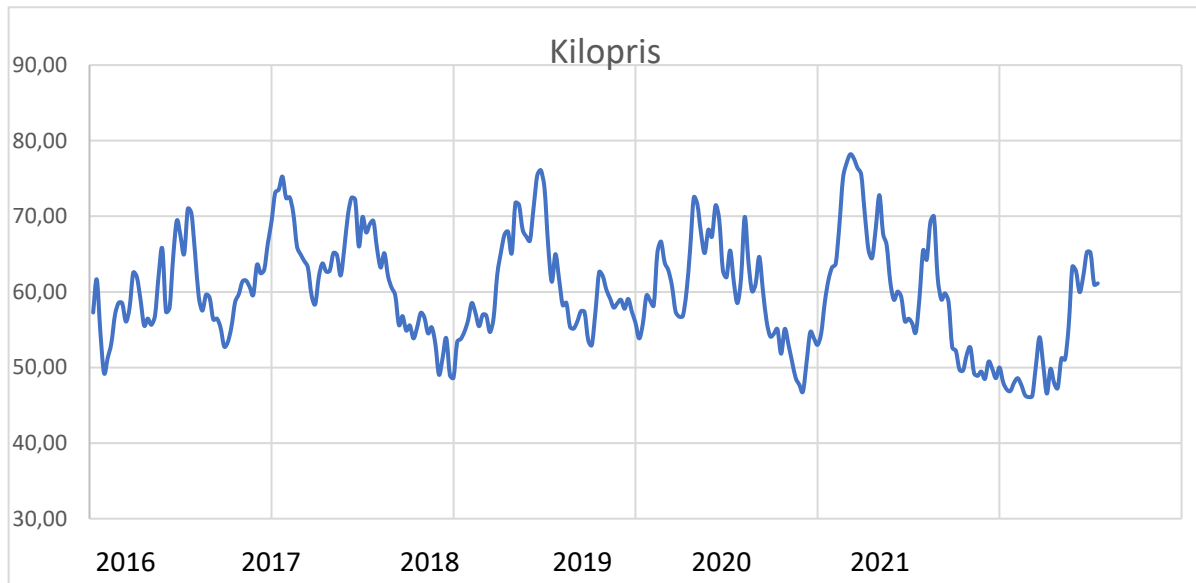
I følge en studie utført av Univeristy of Torronto ble oppdrettsanlegg langs norskekysten analysert, og ifølge modellen de kom frem til er 28% av den totale ytre smitten var fra andre oppdrettsanlegg, der hele 66% av lusen kommer som resultat av smitte innad i samme merd[49]. Kostnaden for den ekstra behandlingen som kommer som resultat av denne eksterne smitten vil da beløpe på 28% av den totale behandlingkostnaden.

#### 4.2 Estimering av variabler til effekter av lus mellom oppdrettsanlegg

Der oppgavens hensikt er å belyse eksternaliteter og hvordan nye teknologier kan påvirke disse, må estimerte variabler på en best mulig måte reflektere de reelle verdiene. For å oppnå dette vil jeg bruke en kombinasjon av statistikk, historiske data og standardverdier for bransjen. Det vil også for å kunne gjennomføre analysen måtte tas noen forenklinger. Videre er variablene ofte basert på innmeldt informasjon, og rapporter fra oppdretterne og pådriverne av ny teknologi.

##### 4.1.1 Lakseprisen p

Eksportprisen av norsk laks har variert mye de siste årene, dette er det mange faktorer som bidrar til, både direkte, som f.eks. produksjonsvolum, men også indirekte faktorer. Blant annet er faktorer knyttet til veksten av laksen, som temperatur i havet og dødelighet store påvirkere for prisen.



Figur 4-2 Prisutvikling for fersk/kjølnet laks 2016-2021] [50]

Som vist i **Error! Reference source not found.** Figur 4-2 er prisen for laksen volatil, og sårbar for endringer. For å best kunne analysere situasjonen i dagens oppdrettsnæring ønsker jeg å benytte meg av den nyeste dataen. For prisen er denne oppdatert kontinuerlig hver uke, men for andre poster, slik som kostnader, er oppdateringen og datainnsamlingen for de enkelte oppdretterne langt mer krevende, og dataen kommer ut med sjeldnere intervaller. For å kunne benytte meg av variabler fra samme år, kommer jeg til videre analyse å benytte meg av snittvariabler fra 2019. I Tabell 4 vises makspris, minstepris, gjennomsnitt og standardavviket i denne perioden i tillegg til hele datagrunnlaget.

Variabel	2016-2021	2019
<b>Gjennomsnittspris:</b>	60,0022383	60,86038462
<b>Standardavvik:</b>	7,26190527	7,182005554
<b>Makspris:</b>	78,20	77,04
<b>Minstepris</b>	46,09	46,83

Tabell 4 Variabler fra lakseprisen 2016-2021 [50]

#### 4.1.2 Kostnaden c

Kostnaden ved lakseoppdrett er delt opp på mange områder, der forkostnader typisk er den største, er det en post som har økt stort de siste ti årene som utgjør den nest største delen av kostnadene. Som man ser i Tabell 5 er posten annen driftskostnad den nest høyeste.

Kostnader	Valuta	2019
<b>Smoltkostnad pr. kg</b>	Kr	4,10
<b>Fôrkostnad pr. kg</b>	Kr	15,63
<b>Forsikringskostnad pr. kg</b>	Kr	0,15
<b>Lønnskostnad pr. kg</b>	Kr	3,19
<b>Avskrivninger pr. kg</b>	Kr	2,58
<b>Annen driftskostnad pr. kg</b>	Kr	8,98
<b>Netto finanskostnad pr. kg</b>	Kr	-0,10
<b>Produksjonskostnader pr. kg</b>	Kr	<b>34,54</b>
<b>Slaktekostnad inkl. fraktkostnad pr. kg</b>	Kr	3,72
<b>Sum kostnad pr. kg</b>	Kr	<b>38,26</b>

Tabell 5 Kostnader ved produksjon av oppdrettslaks [51]

Som Tabell 6 viser er annen driftskostnad delt inn i ulike poster også, her er det kostnadene knyttet til "Fiskehelse pr. Kg" som vil variere om et anlegg har lus eller ikke. Som beskrevet i kapittel 3.3 er de ulike typer behandling for laksen, med ulike kostnader pr kg behandlet fisk. Verdien som er vist her i utgjør den gjennomsnittlige kostnaden for behandling i 2019.

Post		2019
<b>Fiskehelse pr. kg</b>	kr	2,21
<b>Miljø- og vedlikehold pr. kg</b>	kr	2,09
<b>Annet pr. kg</b>	kr	4,68
<b>Annen driftskostnad pr. kg</b>	kr	<b>8,98</b>

Tabell 6 Annen driftskostnad pr. kg. produsert oppdrettslaks. [51]

Denne posten vil for et anlegg ikke bare inneholde kostnader knyttet til å bekjempe lus, men også andre behandlinger knyttet mot fiskehelsen. I dette tilfellet vil jeg forenkle situasjonen, og bruke denne kostnadsposten som kostnader knyttet til lusebekjempelse i anlegg som er infisert. For andre parasittsykdommer i tillegg til virussykdommer vil de samme tiltakene som reduserer lus også redusere forekomsten av disse.

Kostnaden  $c$  vil derfor deles inn i to undergrupper der  $c = c_0 + c_1$ . Her er  $c_0$  lik grunnkostnaden ved oppdrett som er totalkostnaden minus kostnaden for «fiskehelse pr. kg.» noe som medfører at  $c_0 = 38,26 - 2,21 = 36,05 \frac{kr}{kg}$  og  $c_1$  er kostnaden forbundet med posten «fiskehelse pr. kg.» altså  $c_1 = 2,21 \frac{kr}{kg}$ .

#### 4.1.3 Den grunnleggende bæreevnen $K_0$

Som forklart under de ulike oppdrettsteknologiene, vil kapasiteten på de ulike teknologiene være en av faktorene vi ønsker å ta hensyn til under denne modelleringen. For en standard konsesjon står det i Akvakulturen at MTB er 780 tonn, med unntak av Troms og Finnmark. Dette er da den maksimale biomassen det til enhver tid kan være pr tillatelse. Likevel betyr ikke dette at anleggene nødvendigvis har denne kapasiteten, da det ofte er flere tillatelser på hver enkelt lokalitet/anlegg. I min modell er det en grunnleggende bæreevne på 780 tonn som vil brukes til videre analyse.

#### 4.1.4 Fangstfaktoren $q$ og fiskeinnsatsen $E$

Som nevnt i kapittel 4.1 er fiskeinnsatsen satt lik 1 i denne analysen. Begrepet fiskeinnsats er i annen litteratur typisk brukt om antall fiskefartøyer, illustrert av blant annet Fiskeri- og kystdepartementet om grunnleggende fiskeriøkonomi [52]. Ved uthenting av matfisk fra et oppdrettsanlegg er bruken av ressurser pr kg så lav at konstanten blir satt til 1 i analysen.

For fangstfaktoren blir det tradisjonelt regnet på hvor stor andel av populasjonen man greier å fange. For en oppdretter vil dette være hvor stor andel av fisken som blir sendt til videre foredling eller solgt av den dyrkede mengden. Den totale produserte biomassen pr. 2019 var 12 514 682 kg, der 12 013 665 kg ble solgt, dette gir en prosentmessig utnyttelse på 96.00%, og dermed en fangstfaktor på 0.96.

#### 4.1.5 Sensivitetskoeffisient $\varphi$

Sensivitetskoeffisienten beskriver hvor mye bæreevnen til et oppdrettsanlegg blir påvirket av oppdrettsintensiteten  $S$ . For å estimere denne må dødeligheten som kommer som resultat av lakselus ses på, og deretter andelen som kommer fra ytre smitte. Som beskrevet i kapittel 4.1 kommer 28% av den totale smitten fra andre anlegg, der resten av smitten

kommer fra andre kilder. Her vil altså de ulike teknologiene skille seg på hvor stor sensitivitetskoeffisienten vil være.

Dødeligheten som følge av lusesmitte i et anlegg er typisk todelt, der den ene er dødelighet som direkte følge av luseinfeksjonen, og den andre er dødelighet som følge av behandlingen mot lus. Dødeligheten som kommer fra behandling av laksen skiller seg fra den direkte dødeligheten fra lus. Der det er de mindre fiskene som er mest utsatt for lusen, er behandlingen ofte røffere for større fisker, og medfører en høyere dødelighet jo større fisken er.

For de ulike teknologiene jeg skal bruke er det en kombinasjon av data fra tester og pilotprosjekt, samt estimerte tall. Både landbaserte anlegg og lukkede anlegg i sjø har en estimert sensitivitetskoeffisient lik 0. Som nevnt i kapittel 2.4 var det under testingen av Akvafuture sine anlegg observert en enkelt lus i merdene, men dette lave tallet gir ingen effekt, og koeffisienten settes dermed lik 0. For de andre teknologiene er det også utført flere studier, den halvlukkede løsningen viste seg å ikke ha en dokumenterbar forskjell sammenlignet med en ordinær åpen merd. For Ocean Farm er situasjonen verre å trekke ut data fra. Her er det kun gjennomført en test i storskala, fra dataen meldt inn herfra vet vi at det i gjennomsnitt var 0.105 voksne hunnlus pr fisk og observert bevegende lus pr fisk på 0.213 ved Ocean Farm [53], mot et snitt på landsbasis på 0.155 voksne hunnlus og bevegende mengde på 0.688 [9].

I en studie gjennomført av havforskningsinstituttet er det for smolt estimert en dødelighet illustrert i Tabell 7. Snittverdiene til både Ocean Farm 1 og åpen merd innaskjærs ligger innenfor en lusemengde som i snitt gir en ikke eksisterende andel som dør som direkte årsak av lakselus. Til tross for dette er det ikke realistisk å gå ut ifra at lusen er spredd jevnt, og at ingen smolt eller fisk dør som følge av lakslusinfeksjon.

Antall lakselus per smolt	Andel som dør av lakslus
0 til 1	0%
2 til 3	20%
4 til 5	50%
6 eller flere	100%

Tabell 7 Antatt sammenheng mellom lakselus per smolt og dødelighet [4]

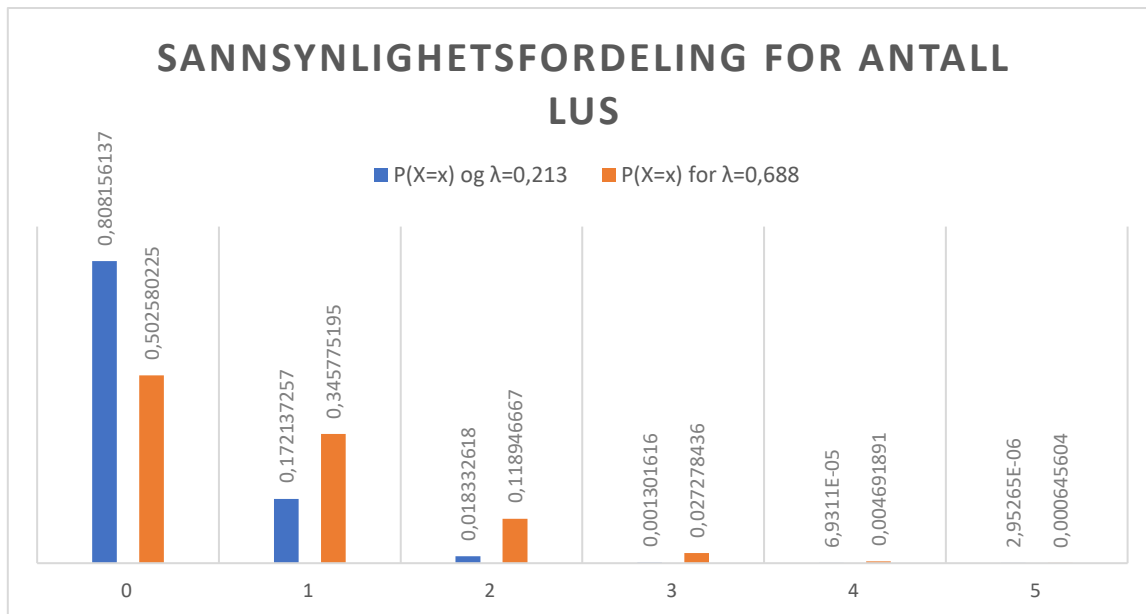
For å estimere hvor ofte mengden lus pr fisk overskrider verdiene vist i Tabell 7, må vi se på sannsynligheten for at noen fisk har høyere andel lus enn andre. Fra et forskningsprosjekt utført av veterinærhøgskolen i 2011 ble det forsket på fordelingen av lus. Dette er et tall som i stor grad blir målt og analysert, heller enn estimert. Men om man vet den sanne mengden lus som befinner seg i en merd ble det oppdaget at fordelingen av lus følger en Poisson-fordeling [54].

Poisson-fordelingen forteller sannsynligheten for at  $x$  antall uavhengige hendelser forekommer innen et gitt intervall. Formelen blir uttrykt ved formel (12), som forteller sannsynligheten for at vi har  $x$  lus på en fisk.

$$P(x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} \quad (11)$$

I vårt tilfelle ønsker vi å finne sannsynligheten for at vi har mer enn 2 lakselus, vi må derfor finne den akkumulerte sannsynligheten for mer enn  $x$  lakselus for både observert mengde lus lik 0.213 og 0.688. I Figur 4-3 vises sannsynligheten for de ulike mengdene lus fra 0 og opp til 5, merk at sannsynligheten for over 4 er så lav at jeg ikke tar hensyn til dette i videre utregning. Summert opp er sannsynlighetene for mer enn 2 lus pr. smolt 15.16% for innaskjærs åpen løsning, og for offshore løsningen lik 1.97%. Multiplisert med forventet dødelighet for 2 lus pr smolt får vi en estimert dødelighet som direkte årsak av lusepåslag her på 3.03% for innaskjærs oppdrett, og dermed samme variabel for halv-lukkede merder, og 0.394% for offshore oppdrettsanlegg. Dette er altså kun som direkte årsak av lusepåslaget, og inkluderer ikke tilfeller der lusen indirekte har påført smolten død, som resultat av svekkelser eller andre plager.





Figur 4-3 Sannsynlighetsfordeling for antall lus

For å finne dødeligheten som resultat av behandlingene mot lakselus må vi se på dødeligheten samt hyppigheten av de ulike behandlingsformene. Som tidligere nevnt er de to vanligste formene for ikke-medikamentell behandling termolicer og hydrolicer, som henholdsvis er varmebehandling og høytrykksbehandlinger. For medikamentell behandling er det også ulike metoder som blir brukt, der behandlinger med legemidler som Emamektinbenzoat, Azametifos og hydrogenperoksid er de vanligste. I 2019 ble det ifølge tall fra barentswatch utført 2431 ikke-medikamentelle behandlinger[55] der tall fra fiskehelse rapporten viser at det ble gjennomført 698 medikamentelle behandlinger [51].

Tall knyttet opp mot dødeligheten av mekanisk og annen ikke-medikamentell behandling av lakselus vil være avhengig av fiskens helse før behandling, i tillegg til bruk av utstyret, da trengsel og røff behandling er viktige faktorer. Under forsøk der blant annet forhold rundt bruk av pumper og silemetoder for en termisk behandling ble endret varierte dødeligheten fra 0.4% til 2.7% [56]. Dette tyder da på at metodene for behandling av fisk ikke er hele bildet, men at også transport og fysisk behandling er viktig å ta hensyn til.

For studier utført på forskjellige lokaliteter ble det rapportert inn til veterinærinstituttet dødelighet for termisk behandling fra 0.5%, og helt opp til 1.5% [57]. For helt frisk fisk blir det derimot rapportert tall som indikerer dødelighet fra 0.02% til og med 0.3%. Tatt i betraktning usikkerheten rundt estimatene vil jeg i analysen benytte dødelighet her lik 0.5%.

For en lusebehandling bestående av bruk av børster og høytrykkspykere ble den akkumulerte dødeligheten rapportert fra 0.01% til 0.33%, med et gjennomsnitt på 0.26%, som er verdien jeg vil benytte i videre analyse.

Til tross for at medikamentelle behandlinger har blitt mindre og mindre brukt utgjør det fremdeles en viktig del av behandlingsgrunnlaget. I 2019 ble det utskrevet 749 resepter som dekker medikamentell behandling av lakselus[58]. Den medikamentelle behandlingen foregår i stor grad som badebehandlinger, der det i likhet med flere av de ikke-medikamentelle metodene også kreves behandling og transport av fisken ut fra merdene, noe som bidrar til økt dødelighet.

Dødeligheten knytt til medikamentelle behandlinger er typisk en del lavere enn termisk og mekanisk behandling. For all behandling er det meldepliktig om behandlingen førte til mer enn 0.2% økt dødelighet, for termisk og annen mekanisk utgjorde dette 60% av alle behandlinger, men for medikamentell utgjorde denne andelen bare 3.7%. For en gjennomsnittlig dødelighetsrate er det gjennomført veldig få studier som i større skala har sett på dette. Videre i analysen vil jeg derfor anta at den økte dødeligheten for dette vil ligge på 0.1%, der anslaget i stor grad baserer seg på veterinærinstituttets estimater for økt dødelighet grunnet trengsel og mekanisk stress ved forflytning[57].

Tidligere har jeg også nevnt både laser og rensefisk som tiltak mot lakselus. Det som er felles for disse er at dette er håndteringsfrie behandlinger, og har derfor svært lav dødelighet, og begge skal ved korrekt bruk ha en dødelighet lik 0. Begge disse metodene er også passive behandlingsmetoder, og spesielt rensefisk blir ofte brukt som et forebyggende tiltak. For laserbehandlinger sin del er dette fremdeles så lite utbredt at jeg ikke vil ta hensyn til dette i videre analyse.

Fra havforskningsinstituttet ser vi at behandlingene er fordelt slik: 60 % termisk, 26 % mekanisk, og kun 14 % kjemisk badebehandling [44]. Et vektet gjennomsnitt av dette vil da gi en dødelighet på 0.3826% pr. behandling. Nøyaktig hvor mange behandlinger det blir utført pr. merd finnes det ingen dokumentasjon offentlig tilgjengelig på, da det kun er plikt til å rapportere behandlinger pr lokalitet. Hyppigheten av behandlingene vil selvsagt variere rundt i landet, ettersom det er store forskjeller på smittepresset. I analysen vil jeg sette

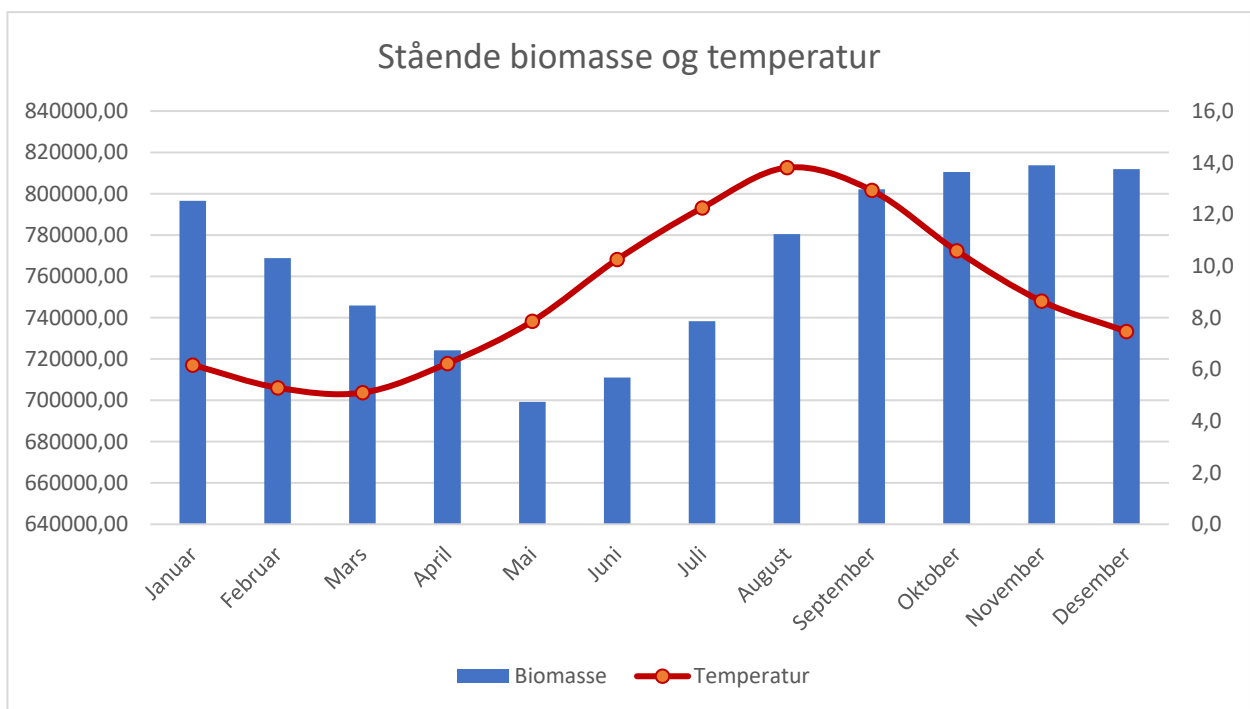
hyppigheten lik en behandling pr. merd for ett utsett av smolt. Sensitivitetskoeffisienten for de ulike teknologiene er gitt i Tabell 8.

Teknologi:	Innaskjærs	Offshore	Landbaserte anlegg	Semi-lukket	Lukket løsning
$\phi$ :	3.41%	0.777%	0	3.41%	0

Tabell 8 sensitivitetskoeffisient for ulike teknologier.

#### 4.1.6 Vekstraten r

Som nevnt tidligere blir tiden en laks er i vannet ofte målt i døgngrader, dette stammer i stor grad fra Laksens vekstegenskaper. Fremveksten fra smolt til matfisk er avhengig av flere faktorer, men temperatur, lys og tilgang til oksygen har størst påvirkning. Typisk vil et oppdrettsanlegg bestå av to forskjellige utsett av smolt, en på våren, og en på høsten. Vekstraten for disse to utsettene vil variere, da den varmere temperaturen i sjøen på høsten gir gunstigere vekstforhold for fisken. For å kjempe mot dette vil det i mange tilfeller settes ut større smolt på våren. I Figur 4-4 illustreres temperaturen og biomassen i Norske oppdrettsanlegg, der man ser temperaturøkning etterfulgt av økning i biomasse. Som et tall på vekstrate brukes det flere metoder for å regne ut dette. En av de mest brukte er skrettings VF3, der man kan regne ut vekstrate med hensyn til både temperatur og tid i vannet.



Figur 4-4 Biomasse og gjennomsnittstemperatur. [9], [50]

For å finne en korrekt vekstrate ønsker vi derfor å se på veksten ved både vår og høst utsett. Som nevnt er det ulike startvekter for smolten på våren og høsten, der de typiske vektene henholdsvis er 80 og 150 gram. Som temperatur vil jeg benytte meg av snittemperaturen som i 2019 var 9.0 grader. Formelen for vekstfaktoren VF3 eller thermal growth factor er illustrert i (13). Her trenger vi altså i tillegg til de gitte startvektene å velge ut vekten ved slakting, samt estimere hvor mange døgngader vi har i vekstperioden.

$$VF3 = \frac{(\sqrt[3]{\text{Sluttvekt}} - \sqrt[3]{\text{startvekt}})}{\text{totale døgngader}} * 1000 \quad (12)$$

Laksen er vanligvis slaktet ved en vekt på mellom 4 og 6kg, og gjennomsnittlig tid for å oppnå denne vekten varierer fra 12-28 mnd [59]. For analysen videre har jeg satt en sluttvekt på 5kg, og tid i merdene lik 15 mnd. For de ulike startvektene til smolten gir dette resultatet vist i Tabell 9.

Startvekt	80	150	Snitt
<b>VF3</b>	3.16	2.91	3.03

Tabell 9 VF3, vekstrate for smolt

#### 4.3 Kostnaden av lakselus og rømt oppdrettslaks i lakseelver

For rekreasjonsfiske og annen fiske av laks i elver vil verdien av fisken være delt opp mer enn bare bruksverdien av selve fisken. Verdsettelsen av villaksen og hvor viktig den er å ivareta illustreres i de enorme summer det offentlige bruker på kultivering og beskyttelse av rasen. I vårt tilfelle er rekreasjonsfiske, og hvordan dette påvirkes av eksterne effekter, og hvilke kostnader dette utgjør samfunnet det vi ønsker å se på.



Figur 4-5 Ringvirkninger fra laksefiske [60]

Omsetningen av laksefiske i norske elver var i 2019 på ca. 1.3 milliarder kroner, med en økning på 10% av nordmenn som har betalt årsavgift eller fiskekort [61]. Nøyaktig hvilke kostnader som inngår i omsetningen er illustrert i Figur 4-5. For å se på hvordan en reduksjon i villaksen som følger av sykdommer knytt opp mot lus, må vi først modellere verdien som skapes av en fisket villaks. Dette vil da inkludere faktorene i Figur 4-5, og er det som ligger grunnlaget for den samlede omsetningen på 1.3 mrd NOK. Antall fiskede villaks er 136 325 stk, der 41 821 ble sluppet ut igjen i elven. Dette gir da en omsetning pr villaks på:

$$\frac{1\,300\,000\,000\text{ Kr}}{136\,325\text{ stk}} = 9\,542.33 \frac{\text{Kr}}{\text{stk}} \quad (13)$$

For de som driver med fiske på villaks er det gjort flere studier på hvor mye de er villige til å betale for å nyte denne goden, altså deres WTP, eller «Willingness to pay». I en studie av Olausen og Liu ble effekten av rømt oppdrettslaks i elvene, og effekten dette har på WTP utforsket. Studien relaterte seg til kostnaden knyttet til å fiske villaks, altså både overnatting, transport og diverse utstyr. Fra studien viste det seg at dersom andelen oppdrettslaks i

elvene er 50%, ga dette en nedgang i betalingsviljen på 60%, og en elv kun bestående av oppdrettslaks ga en nedgang på 85% [62]. Dette viser også at viljen til å betale for dette godet ikke kun relaterer seg til fisket, men også opplevelsen rundt dette. Det er også verdt å nevne at tallene over ikke inkluderer reduksjonen i WTP relatert til tap av villaks som konsekvens av sykdommer eller parasitter fra oppdrettslaks, men kun vissheten om at det ikke er villaks.

For å modellere dette må vi først se på hvor mange oppdrettslaks som finner veien opp i elvene, og hvor stor andel dette utgjør av den totale mengden laks. Alle oppdrettere er pliktig til å både melde ifra om forekomsten av rømminger, samt et estimat på antall rømte laks. I 2019 ble det innrapportert at totalt 289 663 oppdrettslaks rømte, der 115 035 ble fanget igjen. Totalt forsvant altså ifølge statistikken 174 628 oppdrettslaks ut i sjøen. For disse tallene er det viktig å nevne usikkerheten, å rapportere inn en nøyaktig mengde rømt laks er i mange tilfeller svært vanskelig, da større volumer rømmer samtidig. Tallene over blir derfor å regne som minimumsantall [44].

Etter å ha funnet mengden oppdrettslaks som befinner seg i elvene, må vi se nærmere på hvor store kostnader som er knyttet til hver enkelt. Betalingsviljen beskrevet over fra undersøkelsen til Olausen og Liu forteller oss om reduksjonen ved 50% og 100% oppdrettslaks, men sier lite om mindre andeler oppdrettslaks påvirker betalingsevnen.

For å kunne modellere dette med så liten grad av usikkerhet som mulig, må vi begrense området vi analyserer. Området som er valgt til dette er Sognefjorden, med sine 5 nasjonale lakseelver kombinert med høye smittepress og rødt lys, vil en positiv effekt av nye teknologier peke seg ut som særlig effektivt her.

I Tabell 10 er fangststatistikken for de fem nasjonale lakseelvene som befinner seg i Sognefjorden. Som dataen viser er det stor variasjon av mengden fisk som er fanget i disse elvene, og datagrunnlaget for skade kan derfor ha noe usikkerhet, mer om dette i kapittel 6.

Det er verdt å nevne at Flåmselva har vært fredet i perioden valgt, og at fangstvolumet beskrevet der er i forbindelse med undersøkelser av elva.

Laks i alt (stk)										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	AVG*
<b>Vikja (Viksvassdraget)</b>	374	306	593	386	289	180	331	233	214	329
<b>Nærøydalselva</b>	407	232	346	511	318	249	105	113	277	268
<b>Flåmselva</b>	0	60	41	0	0	0	0	0	0	51
<b>Lærdalselva</b>	442	958	978	1116	1126	615	278	300	620	715
<b>Årøyelva</b>	103	105	133	161	262	124	142	196	175	158
<b>Sum</b>	1326	1661	2091	2174	1995	1168	856	842	1286	1349

Tabell 10 Fangststatistikk for nasjonale lakseelver i Sognefjorden [63] \*AVG er gjennomsnitt fra tabellen.

	Lusedata (2019):			Rømningsdata:	
	Utbredelse	Intensitet	Dødelighet %	Andel Oppdrettslaks:	Vurdering av innslag av rømt laks:
<b>Vikja</b>	75 (72-77)	11.0 (8.0-12.0)	45 (39-49)	12.683%	Høy
<b>Nærøydalselva</b>	77 (74-81)	14.0 (9.0-16.0)	50 (42-55)	0.75%	Lav
<b>Flåmselva</b>	78 (73-80)	10.0 (10.0-16.0)	47 (42-55)	6.25%	Middels
<b>Lærdalselva</b>	73 (70-76)	9.0 (8.0-13.0)	41 (36-47)	1.98%	Lav
<b>Årøyselva</b>	73 (72-79)	10.0 (8.5-14.0)	42 (39-51)	4.32%	Middels

Tabell 11 Data for utvalgte lakseelver [43] [64].

Vist i Tabell 11 er en mengde data for de 5 lakseelvene vi ønsker å se nærmere på. Disse stammer da fra Sognefjorden, som ligger i Produksjonsområde 4, som i 2021 ligger i rød

sone. Dette sees også i dødeligheten i disse elvene, som alle ligger over 30% dødelighet som følge av lakselus. Med høy oppdrettsintensitet i området, og lakseelver som lider under dette, vil forbedringer med hensyn på ekstern smitte og rømming gagne disse elvene godt.

Vi ser også at mengden rømt oppdrettslaks ikke når opp til de nivåer studien til Olausen og Liu gjorde analyser for, likevel ønsker vi å ta hensyn til dette, og sitter ved analysen her en reduksjon i WTP på 1.2% opptil 50%, og deretter 0.5% videre til 100% innslag av oppdrettslaks.

Formelen jeg benytter for å modellere kostnaden av rømt fisk og dødelighet som resultat i lakselus blir da som følger:

$$E_2 = E_{Lus\ i\ villaks} + E_{Rømt\ oppdrettslaks\ i\ elver} \quad (14)$$

$$E_{Lus\ i\ villaks} = Fangstdata_{2019} * (dødelighet\ %) * Verdiskaping\ pr\ laks \quad (15)$$

$$E_{Rømt\ oppdrettslaks\ i\ elver} = Fangstdata_{2019} * (Andel\ oppdrettslaks * Reduksjon\ i\ WTP) * Verdiskaping\ pr\ laks \quad (16)$$

Etter at dette er regnet ut må vi se på rømningstall og mulig smitte fra de ulike oppdrettsteknologiene. Smitte og mengdene med lus i de ulike teknologiene har vi allerede sett på i kapittel 4.2. For denne analysen blir lusemengden ved innaskjærs brukt som en «benchmark», og smittekoeffesienten satt lik 1, og er vist i Tabell 12. For offshore oppdrettsanlegg kan vi også regne ut smittekoeffisienten på samme måte, og får da 0.31. Likevel vil denne variabelen ha en viss usikkerhet, da avstanden mellom anleggene offshore og lakseelven er større. For å ta hensyn til dette antar vi videre i analysen en reduksjon på 50% grunnet dette, og koeffisienten blir da 0.16

	Innaskjærs:	Offshore	Landbaserte anlegg	Semi-lukket	Lukket i sjø
<b>Smittekoefisienter</b>	1	0,16	0	1	0

Tabell 12 Smittekoefisienter for smitte til villaks



For rømming er det også ønskelig å se på statistikken, og lage et sett med sensitivitetskoeffisienter som vist i Tabell 12. Statistikken for alle merder med registrert rømming er også tilgjengelig hos Fiskedirektoratet. Dessverre har datasettet her noen klare begrensninger. Alle hendelser som er ført til rømming av oppdrettslaks er meldepliktige, men problemet her oppstår ved estimeringen av hvor mange individer som har rømt. Ved hendelser der en fisk f.eks. har rømt ved enkeltbehandlinger er dette lett for oppdretterne å ha kontroll på, men ved rift i not og lignende er tallene i høy grad usikre. Analyser ved ulike mengder rømt laks blir derfor gjennomført med dummyvariabler, og et fiktivt sett med tall.

#### 4.4 Utslipp av næringsalter og fôrbruk

For å kunne finne de økonomiske konsekvensene av overgjødning som konsekvens av utslipp av næringsalter må vi se videre på hvem som blir påvirket av dette. Ideelt sett skulle vi hatt undersøkelser for alle verneverdige fjordarmer eller elveløp, men slike undersøkelser er veldig tidkrevende, og omfattende å gjennomføre. Den nyeste storskala undersøkelsen som er gjennomført i Norge ble utført i 1991, og tok for seg området fra svenskegrensen, og til Lindesnes, et område som ikke har stor grad av oppdrettsaktivitet heller. For å kunne få en pekepinn på den samfunnsmessige kostnaden til slike utslipp, må noen antakelser derfor tas. Videre i analysen vil jeg benytte en undersøkelse som ble gjennomført for ferskvannsområder med variert dyreliv, dette antas å kunne tilsvare betalingsviljen for tilsvarende utslipp i oppdrettsnære områder.

I en undersøkelse gjennomført av Aquamoney i 2009 ble vannkvaliteten delt in i fire klasser basert på innholdet av næringsalter, og betalingsviljen for å forbedre vannkvaliteten undersøkt. Disse fire klassene ble delt inn etter hvordan forurensningen påvirket artsmangfoldet, om det var stor grad av algevekst, og deretter om aktiviteter som båtliv og bading var anbefalt, inndelingen er vist i Tabell 13.

Fargekode:	Egenskaper
<b>Blå</b>	Egnet for aktiviteter med vannkontakt som båtliv, bading og fiske. Egnet for alle typer fisk og mangfold av fugler og planter.
<b>Grønn</b>	Egnet for bading, båtliv og fiske. Den mest forurensingsfølsomme fisken er borte. Mangfoldet av fugler og planter er noe mindre.
<b>Gul</b>	Egnet for båtliv med tilfeldig vannkontakt med begrenset for bading og fiske. Få tall fisk, fugler og planter. Noen alger på overflaten.
<b>Rød</b>	Uegnet for båtliv. Svært få fugler og planter og nesten ingen fisk. Større deler av overflaten med alger.

Tabell 13 Inndeling av risikosoner for utslipp av næringsalter. [65]

En annen tilnærming kan være å se på kostnaden for opprydding, altså for å fjerne næringssaltene som kommer fra oppdrettsanleggene. For ulike oppdrettsteknologier vil metodene for fjerning av næringsalter variere. Som nevnt tidligere er har blant annet den lukkede løsningen til Akvafuture omdannelse av slam og næringsalter til gjødsel som en del av planen sin for anlegget. På samme måte vil det også for landbaserte anlegg være lettere å hindre utslipp av disse stoffene, da man i disse anleggene har full kontroll på vann og avløp.

For å kunne rense utslippene fra åpne og semi-lukkede oppdrettsanlegg må vannet i området rundt merdene renses. Volumet forbundet med en slik behandling vil være mye større enn det selve merden dekker, da stoffene fort vil løse seg opp og bevege seg rundt i vannet. En slik metode vil derfor gi såpass høye kostnader at en slik metode ikke vil være hensiktsmessig.

Ved å se på det å slippe ut disse næringssaltene rett til havet som en tjeneste havet yter, kan vi se på alternativkostnaden for å heller behandle disse utslippene selv. For landbaserte anlegg er rensing av slam og kostnadene tilknyttet dette kjent. Som tidligere diskutert er landbaserte oppdrettsanlegg i lengre tid blitt benyttet for produksjon av settefisk, og er først

i nyere tid tenkt til storskala produksjon av matfisk. Selve rensen kostnaden velger jeg likevel å anse som lik pr. kg. for både matfisk og settefisk. I en undersøkelse gjennomført av miljødirektoratet ble det anslått at denne kostnaden lå mellom 0.45 og 0.74 kr. kg. produsert. Legger man hele produksjonen på 1.36 millioner tonn i Norge til grunn [66] har tjenesten havet gjør for oss en kostnad på mellom 612 og 1006.4 Millioner kroner.

Samtidig blir dette bare en alternativkostnad for å bli kvitt all utslipp av næringsalter. Miljøproblematikken rundt disse utslippene er diskutert tidligere i oppgaven, og det ved sjeldne anledninger at utslippene faktisk fører til skader på biodiversiteten og mangfoldet. Sirkulasjonen er såpass god i de fleste oppdrettsområder, at opphopninger er sjeldne, og dermed er konsekvensene få. Likevel er det farer, ved verste fall kan vi få en algeoppblomstring lignende det oppdrettere i Alta opplevde i 2019, der laks verdt over 2.4 milliarder gikk tapt [67]. Det er ikke noe som tyder på at slike utslipp fra oppdrett var årsaken til denne hendelsen, men i verste fall vil vi kunne oppleve slike situasjoner mye hyppigere enn det vi gjør fra naturens side.

Om man skal bruke slammen fra oppdretterne som gjødsel i jordbruket, må man først se på mengdene av næringsalter, og om dette fyller kravene fra jordbruket. En rapport fra Norsk institutt for bioøkonomi tok for seg nettopp dette bruksområdet, og forventet mengde næringsstoffer. Dersom man skulle utvikle en gjødsel fra slam, vil dette sammenlignet med nåværende gjødselprodukter inneholde større mengder av Fosfor og Kalium, og mindre mengder Nitrogen. Likevel er det veldig gunstige stoffer i slammet, og kombinert med andre typer gjødsel ses dette på som et veldig godt alternativ [68]. I tillegg vil dette være en del av en sirkulær økonomi, der gjenbruk, og miljøhensynet er satt i høysetet, noe som kan være med å fremtidssikre næringen ytterligere.

Salg av gjødsel fra slam er i dag på markedet, men med et fåtall av mindre aktører, derav blant annet «Grønn Gjødsel AS» og «Høst verdien i avfall». Der mengden prosessert slam er over 90% av massen i gjødslet, blant annet er dette tilfellet for gjødslet Grønn 8K fra selskapet «Grønn Gjødsel AS» der dette selges for 3.23 kr/Kg.

#### 4.5 Arealbruk

Som nevnt i kapittel 3.4 utgjør det samlede arealet benyttet av oppdrettsnæringen en liten andel av arealet, men likevel er dette et aktuelt tema. I kystsonen ligger mye av både

bruksverdi, men også nytteverdien i mangfoldet, og den uberørte naturen, derfor vil et anlegg kunne forringe kvaliteten på langt større områder enn det faktisk tar opp.

Samtidig som arealbruken vil endre seg med nye teknologier, vil de eksterne kostnadene knyttet til dette være svært vanskelig å estimere på en god måte. En kan se på bruksverdien av arealer i fjorder sammenlignet med bruksverdien av offshore områder, eller landbaserte anlegg, men å fastsette en monetær verdi på dette vil være en utfordring.

Å skulle fastsette en total monetær verdi for naturområder er et tema som er diskutert omfattende i litteraturen. Spesielt har temaet blitt diskutert i forbindelse med olje og gassutvinning i Lofoten og Vesterålen [69]. Her blir spesielt direkte og indirekte verdier diskutert, som i vårt tilfelle vil være alternativ verdiskaping og bruk til annen næring satt opp mot verdien av urørte naturområder, som for mange involverer følelser, holdninger og geografisk nærhet. For denne analysen videre, vil jeg derfor ikke ha en bioøkonomisk modell som tar for seg arealbruken av oppdrettsnæringen, men dette vil diskuteres i videre i kapittel 6.

## 5. Resultater

Resultatene under er en kombinasjon av modellen for bæreevnen, effekten av dårlig utnyttelse av næringsalter, samt påvirkningen av rømt oppdrettslaks på lakseelver og lokal verdiskapning.

### 5.1 Modell for smitte mellom oppdrettsanlegg:

Teknologi/variabel:	Innaskjærs	Offshore	Landbaserte anlegg	Semi-lukket	Lukket løøsning
$\varphi$	3.41%	0.78%	0	3.41%	0
$r$	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03
$E$	1	1	1	1	1
$q$	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
$c$	38.26	38.26	36.05	38.26	36.05
$p$	60.86	60.86	60.86	60.86	60.86

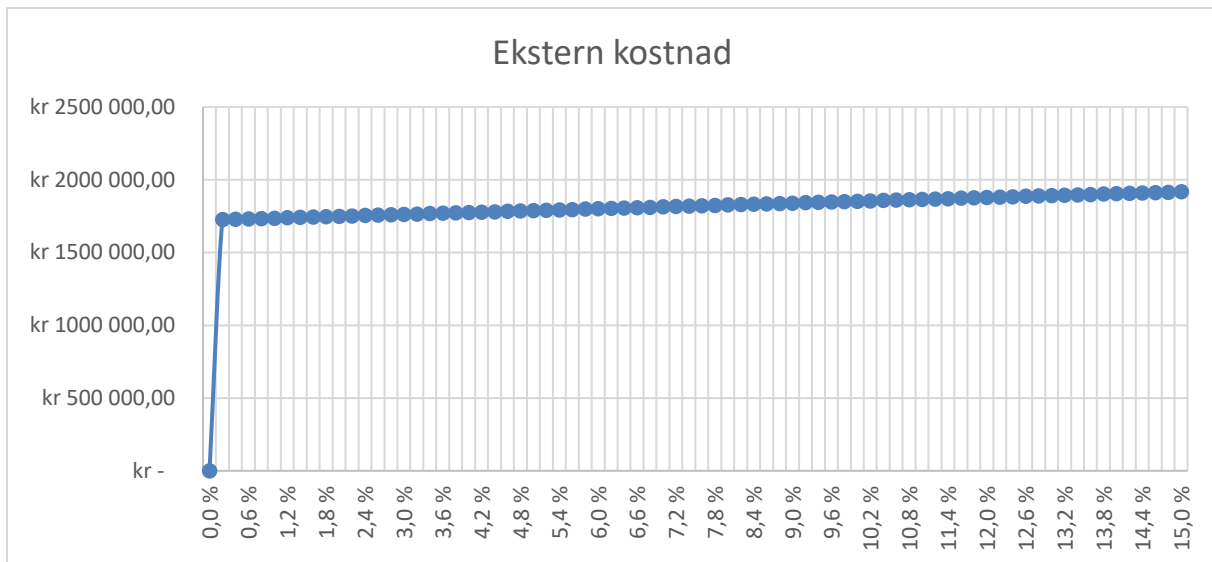
Tabell 14 Variabler for de ulike oppdrettsteknologiene.

Ved bruk av variablene gitt i Tabell 14 kan vi regne ut profitten som kommer fra ett utsett på 780 tonn, profitten er vist i Tabell 15 **Error! Reference source not found.**

Teknologi:	Profitt:	Ekstern kostnad av lus:	% Reduksjon
<b>Innaskjærs</b>	kr 1 246 517,78	kr 1 767 806,89	58.6%
<b>Offshore</b>	kr 1 280 587,63	kr 1 733 737,04	57.5%
<b>Landbaserte anlegg</b>	kr 3 014 324,67	kr -	0%
<b>Semi-lukket</b>	kr 1 246 517,78	kr 1 767 806,89	58.6%
<b>Lukket løøsning</b>	kr 3 014 324,67	kr -	0%

Tabell 15 Profitt og eksterne kostnader knyttet til lakselus

Her ser vi tydelig at selve dødeligheten til lakselusen har en viss påvirkning, men at kostnadene knytt til behandling, og dødeligheten i denne behandlingen gjør store utslag på resultatene. For å kunne undersøke videre hvordan en endret sensitivitetskoeffisient kan påvirke resultatet ønsker jeg å gjennomføre en sensitivitetsanalyse på denne variabelen. For å kunne se resultatene dette har, vil jeg modellere dette for en koeffisient fra 0% til 15%.

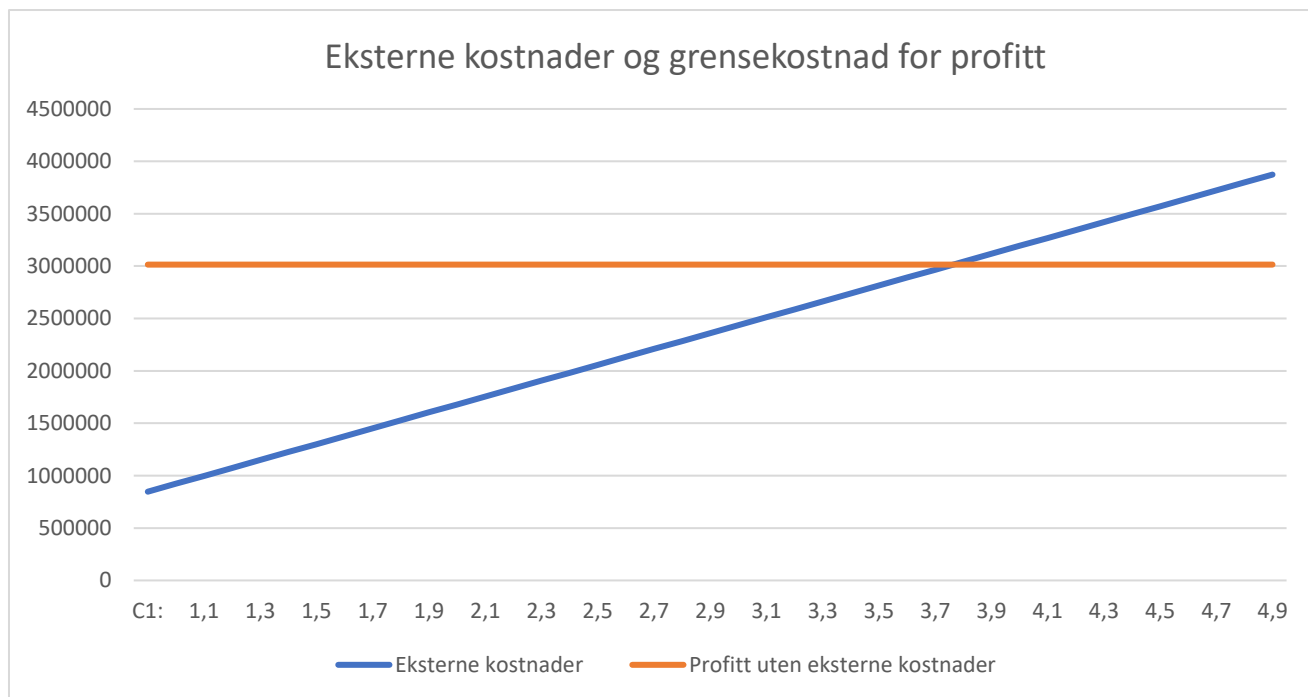


Figur 5-1 Ekstern kostnad for varierende sensitivitetskoeffisient.

Som det kommer tydelig frem fra Figur 5-1 er det stor forskjell på om sensitivitetskoeffisienten er lik 0, eller større. Grunnen til dette er at analysen hittil er gjort slik at kostnadene for behandling av lakselus er vurdert til å påløpe med en gang det er observert mengder lus som kan påføre økt dødelighet i merden. Ellers er forholdet er lineært, og for en sensitivitetskoeffisient lik 15% påføres en ytterligere kostnad på 149 185 NOK sammenlignet med tilstandene vi har ved innaskjærs oppdrettsanlegg.

En annen interessant variabel å se på er ekstrakostnaden for behandling av lakselus, altså variabelen  $C_1$ . Denne er i analysen satt lik 2.21, som et tall hentet fra fiskedirektoratet. Dette tallet kan det tenkes at vil endre seg i fremtiden med mer effektiv teknologi, og bruk av andre metoder for avlusning. Samtidig kan dagens metoder også måtte utgå grunnet endringer i reguleringer, noe som kan føre prisen for avlusning oppover.

Sensitivitetsanalysen gjennomføres med en tilleggs-kostnad  $C_1$  som går fra 1 kr/kg opp til 5kr pr. kg, for dette plottes profitten for sensitivitetskoeffisient lik 3%.



Figur 5-2 Eksterne kostnader og grensekostnad for profitt

Krysningspunktet av de to grafene i Figur 5-2 er der de eksterne kostnadene av lakselus er høyere enn profitten uten, og dermed «cut-off» punktet for produksjon. Oppdrettsnæringen vil altså ikke tåle en tilleggskostnad grunnet avlusning høyere enn 3.8 kr/kg.

### 5.2 Kostnaden av lakselus og rømt oppdrettslaks i lakseelver

Resultatet fra kostnadsanalysen i Tabell 16 viser estimert tapt fortjeneste i og rundt lakseelvene som følge av lakselus og rømt oppdrettslaks.

	E_(Lus i villaks)	E_(Rømt oppdrettslaks i elver)	E_(2)	% av estimert omsetning
<b>Vikja</b>	kr 918 926,38	kr 310 793,15	kr 1 229 719,53	60 %
<b>Nærøydalselva</b>	kr 1 321 612,71	kr 23 789,03	kr 1 345 401,73	51 %
<b>Flåmselva</b>	kr -	kr -	kr -	-
<b>Lærdalselva</b>	kr 2 425 660,29	kr 140 569,97	kr 2 566 230,26	43 %
<b>Årøyselva</b>	kr 725 407,93	kr 89 536,06	kr 814 943,99	47 %

Tabell 16 Eksternaliteter for lakselus hos villaks og rømt oppdrettslaks

Her er den eksterne kostnaden beskrevet i form av tapte ressurser, her er det benyttet en lineær tilnærming for den reduserte betalingsviljen forbundet med oppdrettslaks i lakseelvene. Tabellen viser også den prosentvise andelen av nåværende estimert omsetning disse eksternalitetene utgjør. For Vikja som både er hardt rammet av lus og rømt oppdrettslaks utgjør den tapte omsetningen hele 60% av den faktiske omsetningen.

For å se på hvordan de ulike oppdrettsteknologiene kan påvirke disse tallene benytter vi sensitivitetskoeffisientene for smitte gitt i Tabell 12. Resultatet dette gir ser man i

	Smittecoeffisienter	Eksterne kostnader fra lusesmitte for alle lakseelvene:	
<b>Innaskjærs:</b>	1	kr	5 391 607,30
<b>Offshore</b>	0,16	kr	862 657, 17
<b>Landbaserte anlegg</b>	0	kr	-
<b>Semi-lukket</b>	1	kr	5 391 607,30
<b>Lukket i sjø</b>	0	kr	-

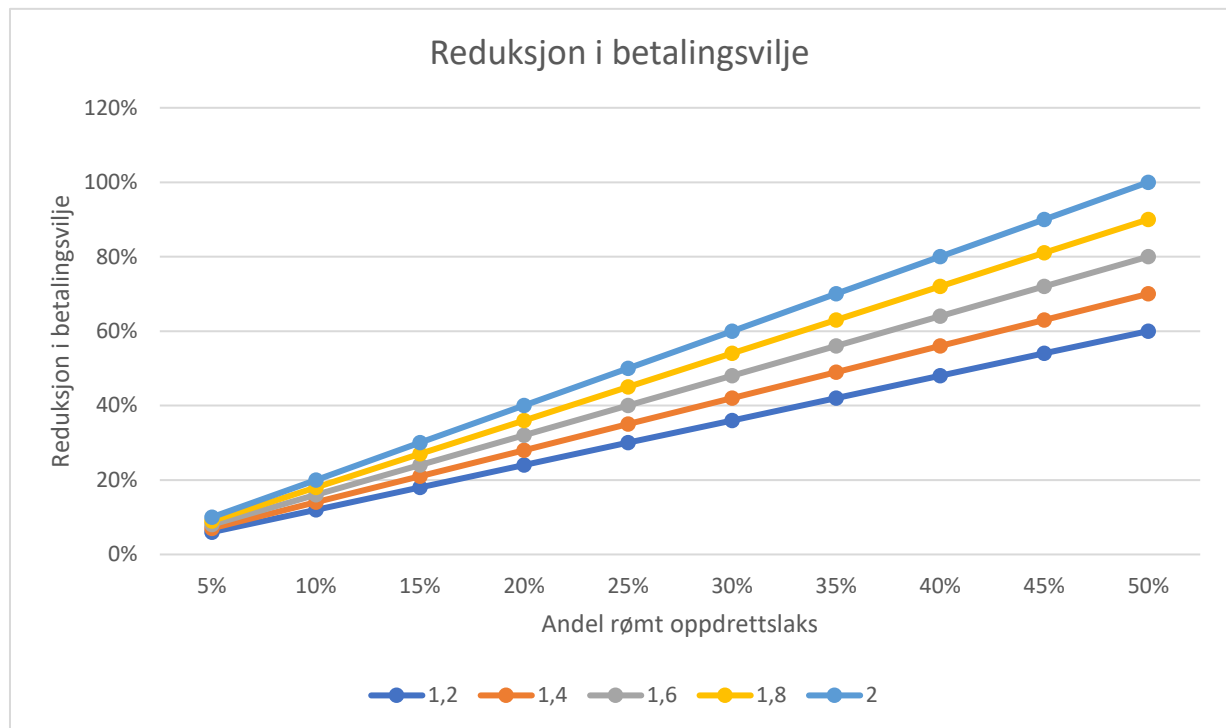
Tabell 17 Smittecoeffisienter for de ulike oppdrettsteknologiene

Her i analysen er den høyeste andelen oppdrettslaks på 12.7% og dette gjelder Vikja, og utgjør hele 310 793,15 NOK i tapte inntekter. Samtidig befinner det seg flere større oppdrettsanlegg i Sognefjorden, og rømninger herfra kan føre til store innslag av oppdrettslaks i elvene i visse perioder. I Figur 5-3 ser vi derfor hvordan den eksterne kostnaden vil variere pr. laks for ulike mengder oppdrettslaks i elvene. Vi kan også tenke at reduksjonen i betalingsviljen grunnet rømt oppdrettslaks ikke er lik, derfor er det også plottet for ulike reduksjoner i WTP.

Betalingsviljen vil som illustrert i Figur 5-3 sterkt avhengig av hvor sensitive fiskerne i lakseelvene er med hensyn til andel oppdrettslaks. For mindre lakseelver, og bedrifter tilknyttet disse vil dermed en rømningshendelse kunne ha store konsekvenser for videre drift. Samtidig kan det være naturlig med en viss korrelasjon mellom rømt oppdrettslaks og lusepåslag. Dersom dette er tilfelle, kan det være at de mer luseresistente oppdrettslaksene plutselig har bedre vilkår til overlevelse i lakseelver, noe som igjen kan forverre problemet.



Hvordan dette kan modelleres, og hvilke andre effekter korrelerende variabler kan ha diskuteres videre i kapittel 6.



Figur 5-3 Reduksjoner i betalingsvilje for ulike verdier for sensitivitet og andel rømt oppdrettslaks.

### 5.3 Utslipp av næringsalter og fôr

Utslippene av næringsalter og fôrrester fra oppdrettsnæringen blir i dagens

oppdrettsnæring i stor grad sluppet rett til havet, med de mulige farene som følger dette.

Med nye oppdrettsteknologier som gjør det mulig å samle inn disse næringssaltene kan dette gå fra å være til slitasje for naturen, til å bli et godt supplement for landbruk i form av gjødsel. Kostnaden knytt til behandling av slam for å fjerne næringssaltene vil for en enkelt konsesjon bestående av 780 tonn utgjøre en kostnad mellom 351 000 NOK og 577 200 NOK.

Selve slammet består som nevnt av avføring, forspill og andre stoffer brukt i forbindelse med vedlikehold av anlegg og lignende. Likevel er fôret kilden til de største mengdene, og det antas at vi får 0.13kg TS pr.kg. fôr, eller mellom 1.5-2kg. slam. Ved en fôrfaktor på 1.15, utgjør dette 0.165 kg TS pr. kg. oppdrettet fisk. Dette blir da ca. 128 000 kg slam i året for 780 Tonn [70]. Gitt gjødselprisen til «Grønn gjødsel AS» kan dette bli en omsetning på 413 440 Kr.

Tar man de estimerte kostnadene for behandlingen av slammet til grunn, vil dette kunne gi et netto overskudd på mellom -62 440 NOK til 163 760. Dette er da uten noe form for transport eller annen foredling, dette diskuteres videre i kapittel 6.

#### 5.4 Arealbruk

Arealbruken og plassering av oppdrettsanlegg er en faktor som er svært viktig å ta hensyn til med tanke på bygging av større anlegg, samt ved en økt mengde landbaserte oppdrettsanlegg. Den mest arealkrevende teknologien er nå landbaserte anlegg, Et typisk anlegg som produserer 5000 tonn årlig, krever typisk et areal på 45 kvadratkilometer[70]. Dersom hele den produserte mengden i 2019 på 1 364 044 tonn skulle vært gjennomført i landbaserte anlegg ville dette krevd et areal på ca. 11.7km<sup>2</sup>, dette gitt 130 store landbaserte anlegg med kapasitet på 10 000 tonn hver i året [71]. Dette arealet gjelder kun produksjon av matfisk, og kommer i tillegg til alt eksisterende produksjonsanlegg for smolt. I seg selv er dette et relativt lite areal, men når slike areal må bygges ut i strandsonen utgjør dette en langt større ekstern kostnad for samfunnet.

## 6. Diskusjon

De ulike modellene og metodene for å regne på kostnaden av eksternaliteter for ulike oppdrettsteknologier gir oss et innblikk i hvordan næringen kan utvikle seg i årene som kommer. Bærekraftig oppdrett vil være nødvendig for at oppdrettsnæringen skal kunne fortsette utviklingen til å bli morgendagens næringskilde. Samtidig vil en mer samkjørt og sirkulær tankegang kunne bidra til å redusere kostnader for oppdrettere. Men utviklingen og endringen i teknologiene åpner også opp for en del spørsmål: Vil det komme krav om lukkede anlegg fremover? Må oppdrettsnæringen sikre at slam og andre avfallsstoffer ikke havner i havet? Om det kommer slike pålegg, hvem skal da betale for dette?

### 6.1 Lusesmitte mellom oppdrettsanlegg

Smitten mellom oppdrettsanlegg ble i kapittel 5.1 estimert til å ligge på 0% for de to lukkede løsningene, 57.5% for offshore-anlegg, og 58.7% for semi-lukket og ordinær innaskjærs anlegg. I denne modellen ble de fleste variablene estimert ved hjelp av ulike metoder, og vil da være offer for en viss usikkerhet, noe som igjen kan føre til feilestimerte tall.

For estimeringen av kostnadene knyttet til offshore oppdrettsanlegg ble det benyttet en lik sannsynlighet for smitte mellom anleggene i denne oppgaven. Dette er grunnet plasseringene til anleggene som foreløpig er i drift, som ikke ligger med spesielt større avstand til andre anlegg. Dersom disse anlegge etter hvert plasseres enda lenger fra kysten og andre anlegg, vil sannsynligheten for dette reduseres.

Samtidig teknologien rundt selve oppdrettsanleggene utvikler seg, gjør også behandlingene mot lakselus dette. Det første store steget i utviklingen kan sees på som allerede i gang, med et skifte fra kjemiske behandlinger, til den nå mer vanlige mekaniske behandlingsformen. Denne har som kjent en høyere dødelighet nå, men som forklart i kapittel 4.1.5 varierer disse tallene stort for små justeringer av utstyret.

En av teknologiene for å behandle lakselus som ble nevnt, men ikke benyttet i analysen er laserbehandlinger. En slik behandling vil kunne kontinuerlig kunne være i drift i en merd, og dermed sikre lav lusesmitte, uten noe form for ubehag eller velferdsproblemer for fisken. Slike behandlingsformer vil uten tvil være et fokusområde fremover, spesielt etter at trafikklyssystemet ble tatt i bruk. Ved å ha et insentiv om å kunne øke produksjonen med 6%

sammenlignet med en reduksjon på 6%, vil midler brukt på utvikling av teknologi som fører til en overgang fra rødt til grønt lys fort kunne tjene seg inn igjen.

Om noen teknologier i fremtiden vil kunne gjøre enkeltmerder tilnærmet lusefrie vil situasjoner der disse lusefrie merdene fremdeles blir stanset av rødt lys grunnet generelt høyt smittepress i sonen de befinner seg i. Om det i en slik situasjon ikke lønner seg å bruke midler på avlusning grunnet lav kapasitet, kan det tenkes at oppdrettere heller har smitte av lakselus i merdene sine. Dette til tross for mulig smitte over på villaks, og effektene dette til slutt kan ha.

### 6.2 Lakselus og rømt oppdrettslaks i lakseelver

Både lakselus og rømt oppdrettslaks i elvene er problemer de nye oppdrettsteknologiene på en god måte adresserer. Fra analysen ser vi effekten redusert lusemengde i de nærliggende anleggene kan ha på lakseelvene. Samtidig har analysen noen svakheter når det kommer til den estimerte omsetningen pr laks. Tallet som er brukt her representerer gjennomsnittet godt, men laksefiske i elvene er en aktivitet med svært ulike kostnader i de forskjellige elvene. I Årøyelven som er en av elvene som ble sett på er fisket kjent for å være svært kostbart, og ifølge et intervju fra TV2 kan prisene her ligge så høyt som 200 000 NOK for 3 dager med krav om å slippe ut laksen igjen. I slike tilfeller vil modellen sterkt undervurdere de eksterne kostnadene knyttet til eventuell lusesmitte og innblanding av oppdrettslaks.

På den andre siden vil også både sterkt lusepress og rømming kunne ha minimale konsekvenser, der avstand til lakseelver og det om laksen faktisk vandrer opp elvene er viktige. Samlet vil modellen stemme for de vanlige elvene, men for «halene», altså i begge ytterpunktene kunne ha større feil. En forsterkende faktor som ytterligere kan bidra til dette er om det er en korrelasjon mellom rømt oppdrettslaks og lusesmitte. Denne påstanden underbygges av en modell utviklet av veterinærinstituttet fra 2001. Der ble det estimert at en rømt oppdrettslaks var med i produksjonen av 6 ganger så mange luseegg som villaks[72].

### 6.3 Utslipp av næringssalter og fôr

Å kvantifisere økonomisk skaden utslippene fra oppdrettsnæringen har på økosystemet har vist seg å være svært utfordrende. I dagens oppdrett er det ingen krav til rensing av disse næringsstoffene, og dermed blir de i stor grad sluppet rett til, havet. I analysen ble et kostnadseksempel på en behandling av slam, og hvilke muligheter dette har til videre bruk

belyst. Spesielt viktig er kanskje det å få satt i gang en sirkulær økonomi for fôr og andre biprodukter, der de verdifulle næringsstoffene kan bidra til verdiskapning i flere næringer, blant annet landbruket.

Denne måten å gjenbruke næringssaltene på har dessverre også svakheter. Slam fra oppdrettsnæringen er i utgangspunktet løst i større mengder vann, men blir skilt ut gjennom ulike prosesser. Disse prosessene har alle som mål å øke tørrstoffinnholdet i det gjenværende produktet, utfordringen er at jo høyere mengde tørrstoff, jo høyere kostnad har prosessene[73]. Samtidig må også frakten av den tørkede slammen tas hensyn til, så en balansegang mellom tørkeprosesser og fraktkostnader vil være viktig for å lykkes med et slikt prosjekt.

Samtidig som det ikke er krav til behandling av avfall i dag, er det ikke utenkelig med strengere reguleringer her, spesielt om veksten oppdrettsnæringen har hatt fortsetter. Å skulle fange opp næringsalter for åpne anlegg er som forklart tidligere en svært dyr og lite effektiv prosess, så en mulighet her er avgifter på disse utslippene om de ikke kan fanges opp. Om dette skulle skje ville både lukkede anlegg og landbaserte kunne ha store konkurransefortrinn.

#### 6.4 Arealbruk

Arealet som kreves for de ulike teknologiene varierer stort, med landbaserte anlegg som den desidert største varianten. Samtidig har arealene de ulike teknologiene krever forskjellige plasseringer, der et gitt areal offshore ikke vil ha samme verdi som tilsvarende areal i en fjord eller på land. Noe som tydeliggjør dette er retten til fri ferdsel i strandsonen, og de store midler som brukes på å sikre dette.

Sammenlignes arealbruket som ble regnet ut for utelukkende landbasert oppdrett med dagens bruk er dette faktisk vesentlig mindre, da dagens oppdrett krever 84km<sup>2</sup>[46]. Grunnen til dette kan være grunnet bruken av flere mindre merder, heller enn få store merder. Mye av arealet som brukes på havoverflaten i dag er nemlig fortøyninger og avsperrede områder.

Samtidig er en bærekraftig utvikling av oppdrettsnæringen også viktig for å nettopp sikre disse arealene som næringen selv ønsker å benytte. Til sammenligning utgjør arealbruken til, landbruket i Norge nesten 3% av arealet, der eksempelet med 130 landbasert

oppdrettsanlegg med 10 000 tonn årlig produksjon bare utgjør 0.003%. Landbruket i dag er altså 1000 ganger så arealkrevende som en oppdrettsnæring utelukkende basert på landanlegg.

#### 6.5 Andre teknologiske fremskritt, og veien fremover

I denne oppgaven er oppdrettsteknologiene brukt som helhetlige metoder for drift, samtidig er det også andre alternativer til teknologisk nyvinning som kan benyttes sammen med både eksisterende og nye oppdrettsløsninger. Konseptet Industry 4.0 er for mange et begrep som er direkte tilknyttet iot (Internet of things), med sensorer og datainnsamling i sanntid. Dette er allerede funnet veien inn i oppdrettsnæringen, et eksempel er SalMars Smart Fish Farm, som er i utvikling med søknad om konsesjon under behandling[24].

Ved bruk av avanserte sensorer kan det tenkes at fremtidens oppdrettsanlegg til enhver tid kan ha full kontroll på faktorer som lusepåslag, eventuelle rømminger. En annen eksternalitet som lettere kan holdes kontroll på er utslippene av næringsalter og vannkvaliteten generelt. Tar oppdretterne i bruk sanntidsanalyse vil lavt oksygen som følge av eutrofiering, eller andre problemer med vannkvaliteten kunne oppdages lenge før det kan utgjøre en fare for fisken i merdene.

Som et sluttprodukt av denne industrielle revolusjonen vil hel-automatiserte anlegg kunne være en realitet. Dette vil spesielt være godt egnet for offshore oppdrettsanlegg, eller andre anlegg som ligger langt fra der folk ferdes. På denne måten vil også bruken av areal kunne spres ytterligere, og dermed utgjøre en mindre belastning på både miljøet og menneskene som ønsker å bruke naturen.

## 7. konklusjon

Hensikten med denne oppgaven var å utforske hvordan de nye oppdrettsteknologiene kan redusere de negative eksternalitetene forbundet med oppdrettsnæringen. Gjennom ulike modeller og former for analyse er både kostnader for andre oppdrettere, tapt fortjeneste i elvefisket og mulige kostnader for utslippshåndtering undersøkt. Datagrunnlaget og metodene brukt her gir ingen fasit, og resultatene bør tolkes som en pilotstudie.

Den første eksterne kostnaden som ble undersøkt var smitten av lakselus mellom oppdrettsanlegg, og kostnadene dette utgjør for oppdretterne. For et normalt innaskjærs oppdrettsanlegg utgjorde kostnadene 58.6% av fortjenesten for innaskjærs og semi-lukkede, for offshore var kostnaden litt lavere med en reduksjon på 57.5%. For den helt lukkede varianten og landbaserte anlegg kan hele denne kostnaden sees bort i fra, med ingen smitte eller kostnad påført fra andre anlegg. I hvor stor grad de nye teknologiene greier å redusere disse eksterne kostnadene varierer altså i stor grad, samtidig er behandlingskostnadene for svært viktig for profitten. Ny og forbedret behandling, og tidligere deteksjon av lus forventes derfor å kunne redusere kostnadene, og dermed redusere forskjellen i de eksterne kostnadene.

Samtidig som høyere oppdrettsintensitet påvirker næringen innad, har også dette ført til høyt press mot villaksen, både i form av rømt oppdrettslaks og økt dødelighet fra lakselus. Villaksen er for mange små samfunn langs norskekysten en viktig inntektskilde, og en viktig del av kulturarven i disse områdene. Med estimerte inntektstap grunnet oppdrettsnæringen på mellom 47% og 60% på de analyserte elvene utgjør dette en stor utfordring for videre drift. For de ulike oppdrettsteknologiene trer igjen de lukkede variantene frem som svært gunstige, etterfulgt av offshore anlegg, for så åpne innaskjærs og semi-lukkede anlegg med høyest ekstern kostnad.

En annen trussel for oppdrettsnæringen ligger i utslippene av næringssalter og andre avfallsstoffer. For at næringen virkelig skal kunne bli bærekraftig vil sirkulærøkonomi være viktig del av dette, likevel slippes 128 000 kg slam i snitt ut fra en konsesjon på 780 tonn, noe som vil koste mellom 351 000 og 577 200 NOK å behandle. Dette vil ved behandling kunne gi gjødsel til en verdi av 413 440 NOK, noe som igjen kan gi et forventet resultat fra dette på mellom -62 440 NOK til 163 760.

Den siste eksternaliteten som ble undersøkt var arealbruken, og hvordan dette påvirker den Verdifulle naturen langs norskekysten. Dersom all oppdrettsaktivitet skulle blitt gjennomført på store landbaserte anlegg vil dette kreve 11.7km<sup>2</sup>. I seg selv er dette mindre enn dagens arealbruk som ligger på 84km<sup>2</sup>, så totalt kan dette faktisk reduseres.

I alt har de nye teknologiene stort potensiale til å redusere mange av de negative eksternalitetene, samtidig som de sikrer videre bærekraftig drift. Anleggende spiller på ulike styrker, og med en rivende teknologisk utvikling vil oppdrettsnæringen, og teknologier knyttet til dette være i kontinuerlig utvikling.



## 8. Videre arbeid

I denne oppgaven måtte visse begrensninger med tanke på omfang tas, og lakselus ble modellert alene, istedenfor sammen med sykdommer som ILA, Gyro og PD. Disse er naturligvis også alvorlige for både oppdrettsnæringen og villaksbestanden. Siden mange av de samme tiltakene kan begrense både lusesmitten, og de overnevnte sykdommene, kunne det vært interessant å se på kostnadene og konsekvensene knyttet til disse også.

En annen eksternalitet som kan være interessant for å veie de ulike oppdrettsteknologiene opp mot hverandre er agglomerasjon. Kort sagt er agglomerasjon effektene næringer har av å ligge geografisk nært hverandre. I oppdrettsnæringen kan dette f.eks. være samarbeid gjennom hele produksjonslinjen, fra klekkeri, og helt frem til pakkeri og utkjøring.

For de brukte variablene vil det også kunne gi et enda mer presist resultat dersom de korrelerende variablene ble identifisert. På denne måten vil en også kunne bruke modellen til å estimere kostnader knyttet til ulike situasjoner enn den dataen er tilgjengelig for.

Siden analysens hensikt var å se på de mulige effektene nye teknologier kunne ha på oppdrettsnæringen er naturligvis datagrunnlaget noe begrenset. Ved å vente til de ulike teknologiene faktisk har vært i drift i en periode, vil datagrunnlaget kunne gi mer riktige resultat. Videre kan analysen også inneholde elementer som driftskostnader, og helt konkrete tall for sykdom og andre elementer vi ønsker å se på.

Videre er spesielt beslag av areal, og verdisetting av naturgoder et viktig tema som burde forskes videre på. Her vil både rekreasjonsverdien og bruksverdien til naturen og tilgangen til de ressurser som ligger der viktig.

Dersom en videre analyse og sammenligning av de ulike teknologiene skal gjennomføres trer teknikker som porters 5 markedskrefter og swot analyser frem som naturlige steg videre.

## 9. Kilder:

- [1] A. Vøllestad, «smolt», *Store norske leksikon*. jun. 09, 2020. Åpnet: feb. 24, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/smolt>
- [2] J. O. Olaussen, Y. Liu, og A. Skonhoft, «Conservation versus harvest of wild Atlantic salmon. The cost of sea lice induced mortality», *Fish. Res.*, bd. 168, s. 63–71, aug. 2015, doi: 10.1016/j.fishres.2015.03.022.
- [3] K. A. Glover, K. Hindar, S. Karlsson, Ø. Skaala, og T. Svåsand, «Genetiske effekter av rømt oppdrettslaks på ville laksebestander: utforming av indikatorer», s. 40, mai 2011.
- [4] L. Qviller, K. O. Helgesen, og L. C. Stige, «Risikomodel for kvantifisering av luseindusert dødelighet på villaks for 2020», *Veterinærinstituttet* 2020, 17/2020.
- [5] «Om vern av villaksen og ferdigstilling av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder», Miljøverndepartementet, St.prp. nr. 32 (2006-2007).
- [6] G. L. Taranger *mfl.*, «Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming», *ICES J. Mar. Sci.*, bd. 72, nr. 3, s. 997–1021, mar. 2015, doi: 10.1093/icesjms/fsu132.
- [7] K. A. Glover *mfl.*, «Half a century of genetic interaction between farmed and wild Atlantic salmon: Status of knowledge and unanswered questions», *Fish Fish.*, bd. 18, nr. 5, s. 890–927, sep. 2017, doi: 10.1111/faf.12214.
- [8] «Rømmingsstatistikk», *Fiskeridirektoratet*. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Roemmingsstatistikk> (åpnet jun. 11, 2021).
- [9] «Lusedata i Excel | Lusedata», *Sjømat norge*, jun. 2012. Åpnet: jan. 18, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://lusedata.no/statistikk/excel/>
- [10] M. Ole, «Klimapanelet: Spis mindre og ikke kast mat». <https://www.aftenposten.no/verden/i/6jyEjr/en-tredjedel-av-utslippene-kommer-fra-matproduksjon-etterpaa-kaster-vi> (åpnet feb. 01, 2021).
- [11] A. Atle, B. Philipp, og Ø. Steffen Fløan, «Fisk forsvinner. Bunnen er rått og livløs. Det skjer noe skummelt i fjordene våre.», *Bergens Tidende*. Åpnet: feb. 01, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.bt.no/nyheter/lokalt/i/AlllOz/fisk-forsvinner-bunnen-er-raatten-og-livloes-det-foregaar-noe-skummelt>
- [12] Anon, «Er laksefôr bærekraftig?», *Laksefakta*, aug. 21, 2018. <https://laksefakta.no/hva-spiser-laksen/er-lakseforet-barekraftig-er-det-villfisk-i-lakseforet/> (åpnet mai 08, 2021).
- [13] U. Winther, E. S. Hognes, S. Jafarzadeh, og F. Ziegler, «Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017», s. 116.
- [14] A. Berge, «Pionérene: Ove og Sivert Grøntvedt», *iLaks*, okt. 15, 2014. <https://ilaks.no/pionerene-ove-og-sivert-grontvedt/> (åpnet feb. 08, 2021).
- [15] «Laksens livssyklus | Erko Seafood». <https://erkoseafood.no/laks/> (åpnet feb. 18, 2021).
- [16] G. F. Rieber-Mohn, *Til laks åt alle kan ingen gjera? : om årsaker til nedgangen i de norske villaksbestandene og forslag til strategier og tiltak for å bedre situasjonen : utredning fra et utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon av 18. juli 1997 : avgitt til Miljøverndepartementet 12. mars 1999*, bd. NOU 1999: 9. Oslo: Statens forvaltningstjeneste, Statens trykning, 1999.
- [17] C. Fagerbakke, «Dette er trafikklyssystemet», *Havforskningsinstituttet*, feb. 06, 2020. <https://www.hi.no/hi/nyheter/2020/februar/trafikklys> (åpnet feb. 02, 2021).

- [18] B. Sarpebakken og S. S. Ubisch, «Ressursinnsatsen til marin FoU og havbruksforskning i 2015», Nordisk institutt for studier av innovasjon, forskning og utdanning (NIFU), 2017: 3, 2015.
- [19] Anon, «Oversikt over søknader om utviklingstillatelser», *Fiskeridirektoratet*. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Saertillatelser/Utviklingstillatelser/Status-ja-nei-antall-og-biomasse> (åpnet mar. 04, 2021).
- [20] A. M. Lien, L. M. Sunde, og A. Bekkevold, «Kunnskap, teknologi og metoder for best mulig utnyttelse av skjørt og snorkel for skjerming av oppdrettslaks mot lakselus», s. 13.
- [21] R. Lilleholt Kraugerud, «Ulike typer oppdrettsanlegg», *Nofima*, mar. 10, 2019. <https://nofima.no/verdt-a-vite/ulike-typer-oppdrettsanlegg/> (åpnet jan. 26, 2021).
- [22] N. Späth, «OCEAN FARM 1 receives first ever offshore fish farming class certificate from DNV GL», *DNV GL*. <https://www.dnvgl.com/news/ocean-farm-1-receives-first-ever-offshore-fish-farming-class-certificate-from-dnv-gl-165626> (åpnet jan. 26, 2021).
- [23] Anon, «SLUTTRAPPORT Prosjekt Ocean Farm 1», SalMar, Sluttrapport.
- [24] A. E. D. Nygård, «Salmar flytter på Smart Fish Farm i søknad etter protester | Intrafish.no», *IntraFish*, jun. 08, 2021. <https://www.intrafish.no/hendelser/salmar-flytter-pa-smart-fish-farm-i-soknad-etter-protester/2-1-1021689> (åpnet jun. 10, 2021).
- [25] B. Tveranger og G. H. Johnsen, «Dokumentasjonsvedlegg til søknad om vederlagsfri landbasert konsesjon for Sande Aqua AS i Skipavika Næringspark i Gulen kommune, med konsekvensutredning», Sande Aqua AS, 2900.
- [26] A. T. W. Rosten, «Oksygen i vann - hva er det beste for fisken?», s. 7, 2009.
- [27] Redaksjon, «Blir et av Europas største landbaserte anlegg - slik skal de redusere driftskostnaden - Kyst.no», nov. 25, 2020. <https://www.kyst.no/article/blir-et-av-europas-stoerste-landbaserte-anlegg-slik-skal-de-redusere-driftskostnaden/> (åpnet jun. 13, 2021).
- [28] «Aquatraz - semi lukket merd beskytter mot lakselus», *Aquatraz*. <https://aquatraz.com/semi-lukket-merd/> (åpnet jan. 26, 2021).
- [29] «Aquatraz: Halvårsrapport for biologiprogram – merdgenerasjon 3 på Årsetfjorden», Midt-Norsk Havbruk, Halvårsrapport AQT-MNH-BIO-009.
- [30] Anon, «Aquatraz», *Midt-Norsk Havbruk AS*, mar. 05, 2021. <https://www.mnh.no/aquatraz/> (åpnet jun. 13, 2021).
- [31] «Akvafuture», *Akvafuture*. <https://www.akvafuture.com/> (åpnet jan. 20, 2021).
- [32] Anon, «Konseptet-Akvafuture», apr. 03, 2021. <https://www.akvafuture.com/no/utviklingstillatelser/> (åpnet jun. 13, 2021).
- [33] N. Anders, «Sluttrapport Akvafuture Final.pdf», Akvafuture, Sluttrapport. Åpnet: mar. 18, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.akvafuture.com/storage/sluttrapport-2020/Sluttrapport%20Akvafuture%20Final.pdf>
- [34] «Graphing Externalities», *Introduction to Economic Policy*. <http://tcdeconomicpolicy.weebly.com/graphing-externalities.html> (åpnet feb. 01, 2021).
- [35] S. Dalvin, Ø. Karlsen, og O. Samuelsen, «Lakselus», *Havforskningsinstituttet*, des. 17, 2018. <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus> (åpnet feb. 17, 2021).
- [36] Ø. Karlsen, S. Dalvin, og O. Samuelsen, «Hvordan spres lakselusa?», *Havforskningsinstituttet*, des. 17, 2018. <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus/hvordan-spres-lakselusa> (åpnet feb. 17, 2021).

- [37] A. Haukaas, «Lakselus», *Veterinærinstituttet*. <https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/lakselus> (åpnet feb. 17, 2021).
- [38] Ø. Karlsen, «Effekter av lakselus på vill laksefisk», *Havforskningsinstituttet*, 20 2019. <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus/effekter-av-lakselus-pa-vill-laksefisk> (åpnet feb. 17, 2021).
- [39] A. Iversen, Ø. Hermansen, R. Nystøl, og E. Junge Hess, «Kostnadsutvikling i lakseoppdrett Med fokus på fôr- og lusekostnader», Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond, 24/2017, des. 2017.
- [40] B. Misund og A. K. Sæteren, «rensefisk», *Store norske leksikon*. mar. 08, 2021. Åpnet: mar. 14, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/rensefisk>
- [41] Anon, «Salg av oppdrettet renseskisk 2012-2019», Fiskeridirektoratet, okt. 2020. [Online]. Tilgjengelig på: [https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Rensefisk/\\_/attachment/download/633fc04d-66a0-4920-8b23-5a4db8c64447:d35aaf8b7532cdaad0c99492027ca721712d63df/standr-yng-3b-salg-rensefisk.xlsx](https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Rensefisk/_/attachment/download/633fc04d-66a0-4920-8b23-5a4db8c64447:d35aaf8b7532cdaad0c99492027ca721712d63df/standr-yng-3b-salg-rensefisk.xlsx)
- [42] Anon, «Rømt fisk og genetisk påvirkning», *Havforskningsinstituttet*. <https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/romt-fisk-og-genetisk-pavirkning> (åpnet mar. 22, 2021).
- [43] T. Aronsen *mfl.*, «RØMT OPPDRETTSLAKS I VASSDRAG I 2019», s. 56.
- [44] «Kunnskapsstatus - miljøeffekter av norsk fiskeoppdrett 2019», HAVFORSKNINGSINSTITUTTET, 2020–6, des. 2020. Åpnet: jun. 01, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/fisken-og-havet-2020-6>
- [45] M. F. Solberg, Ø. Skaala, F. Nilsen, og K. A. Glover, «Does Domestication Cause Changes in Growth Reaction Norms? A Study of Farmed, Wild and Hybrid Atlantic Salmon Families Exposed to Environmental Stress», *PLoS ONE*, bd. 8, nr. 1, s. e54469, jan. 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0054469.
- [46] «Arealbruk | Bærekraft i havbruk», *Barentswatch*. <https://www.barentswatch.no/havbruk/arealbruk> (åpnet mar. 23, 2021).
- [47] S. A. Levin og Autumn Course on Mathematical Ecology, Red., *Applied mathematical ecology*. Berlin: Springer, 1989.
- [48] E. Mikkelsen, «Aquaculture-Fisheries Interactions», *Mar. Resour. Econ.*, bd. 22, nr. 3, s. 287–303, jan. 2007, doi: 10.1086/mre.22.3.42629560.
- [49] M. Aldrin, B. Storvik, A. B. Kristoffersen, og P. A. Jansen, «Space-Time Modelling of the Spread of Salmon Lice between and within Norwegian Marine Salmon Farms», *PLoS ONE*, bd. 8, nr. 5, s. e64039, mai 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0064039.
- [50] «Eksport av laks», *SSB*. <https://www.ssb.no/utenriksokonomi/utenrikshandel/statistikk/eksport-av-laks> (åpnet apr. 29, 2021).
- [51] «Fiskehelsesrapporten 2019», Veterinærinstituttet, 5a/2020, mar. 2020.
- [52] Norwegen, Red., *Strukturvirkemidler i fiskeflåten: utredning fra utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon av 6. januar 2006 ; avgitt til Fiskeri- og Kystdepartementet 19. august 2006*. Oslo: Departementenes Servicesenter, Informasjonsforvaltning, 2006.
- [53] «Fiskehelsesdata». Barentswatch. Åpnet: mai 10, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.barentswatch.no/nedlasting/fishhealth/lice?locality=33757&lang=no>
- [54] E. Skjerve, «Fordeling av lus på laks og betydning for reproduksjon og kontroll», Norges veterinærhøgskole, des. 2011. Åpnet: mai 13, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900607/?fileurl=https://fhfno.sharepoin>

- t.com/sites/pdb/Dokumenter/900607/fordeling%20av%20lus%20p%C3%A5%20laks%20og%20betydning%20for%20reproduksjon%20og%20kontroll-25122011.pdf&filename=Sluttrapport:%20Fordeling%20av%20lus%20p%C3%A5%20laks%20og%20betydning%20for%20reproduksjon%20og%20kontroll
- [55] «Tiltak mot lus». Barentswatch, mai 27, 2021. Åpnet: mai 27, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.barentswatch.no/nedlasting/fishhealth/treatments>
- [56] B. Roth, «Avlusing av laksefisk med Optilice: Effekt på avlusing og fiskevelferd», *Nofima*, nr. 59–2016, s. 46, des. 2016.
- [57] A. B. Holan *mfl.*, «Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll (MEDFRI)», s. 116.
- [58] K. O. Helgesen *mfl.*, «The surveillance programme for resistance in salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in Norway 2020», s. 25.
- [59] «Laks er viktig | Fra fjord til bord». /lakseproduksjon/ (åpnet mai 28, 2021).
- [60] P. Fiske, *Laksefiskeboka: om sammenhenger mellom beskatning, fiske og verdiskaping ved elvefiske etter laks, sjøaure og sjørøye*. Trondheim: Norsk Institutt for Naturforskning, 2001.
- [61] Redaksjon, «Beste laksefiske på fem år - Kyst.no», nov. 05, 2020. <https://www.kyst.no/article/beste-laksefiske-paa-fem-aar/> (åpnet mar. 15, 2021).
- [62] J. O. Olaussen og Y. Liu, «ON THE WILLINGNESS-TO-PAY FOR RECREATIONAL FISHING—ESCAPED FARMED VERSUS WILD ATLANTIC SALMON», *Aquac. Econ. Manag.*, bd. 15, nr. 4, s. 245–261, okt. 2011, doi: 10.1080/13657305.2011.624573.
- [63] Anon, «Elvefiske-statistikk», *ssb.no*, jan. 28, 2021. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/elvefiske/aar/2021-01-28> (åpnet mar. 15, 2021).
- [64] «Vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde i 2019», 2019. Åpnet: mar. 12, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: [https://www.hi.no/resources/ekspertgruppe-rapport\\_2019.pdf](https://www.hi.no/resources/ekspertgruppe-rapport_2019.pdf)
- [65] K. Ibenholt, K. Magnussen, S. Navrud, og J. M. Skjelvik, «Marginale eksterne kostnader ved enkelte miljøpåvirkninger», Finansdepartementet/Grønn skattekommisjon, 2015/19, jun. 2015.
- [66] «Akvakulturstatistikk: Salg 1994-2020». Fiskeridirektoratet. Åpnet: jun. 03, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/fiskeoppdrett>
- [67] I. Eriksen, «Havforskningsinstituttet: – Oppdrett kan umulig være årsaken til dødsalgen», *NRK*, mai 28, 2019. [https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/havforskningsinstituttet\\_-\\_oppdrett-kan-umulig-vaere-arsaken-til-dodsalgen-1.14567416](https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/havforskningsinstituttet_-_oppdrett-kan-umulig-vaere-arsaken-til-dodsalgen-1.14567416) (åpnet jun. 03, 2021).
- [68] J. Cabell, E. Brod, J. Ellingsen, K. Løes, L. Solli, og I. B. Standal, «Bruk av tørket slam fra settefiskanlegg som gjødsel i norsk landbruk», s. 64.
- [69] C. W. Armstrong og V. Kahui, «Økonomisk verdsetting av havmiljø – Anvendelse på havområdene i Lofoten-Vesterålen», s. 72.
- [70] E. A. Holte, «Dersom all norsk oppdrett flyttes på land, hva blir konsekvensene?», SINTEF, feb. 2019.
- [71] av U. Winther, «Landbasert oppdrett av laks - hva vet vi?», *#SINTEFblogg*, mar. 11, 2019. <https://blogg.sintef.no/sintefocean-nb/landbasert-oppdrett-av-laks-hva-vet-vi/> (åpnet jun. 10, 2021).

- [72] P. Heuch og T. Mo, «A model of salmon louse production in Norway: effects of increasing salmon production and public management measures», *Dis. Aquat. Organ.*, bd. 45, s. 145–152, 2001, doi: 10.3354/dao045145.
- [73] O. Oterhals og J. Oppen, «M1602 Logistikk og forretningsmodeller for behandling av fiskeslam», Møreforskning Molde AS. Åpnet: apr. 08, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.moreforsk.no/publikasjoner/rapporter/logistikk/m1602-logistikk-og-forretningsmodeller-for-behandling-av-fiskeslam/1076/3054/>