

Magnus Vrenne Domben
Vetle Bjøringsøy Johnsen

Effektene av en voksende laksenæring

En teoretisk oppgave om interaksjon mellom ville fiskearter og en eksogent gitt laksebestand

Masteroppgave i Samfunnsøkonomi
Veileder: Professor Anders Skonhoft
Trondheim, juni 2018

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for økonomi
Institutt for samfunnsøkonomi

Forord:

Denne masteroppgaven markerer slutten på vår 5-årige integrerte mastergrad i samfunnsøkonomi ved institutt for samfunnsøkonomi på NTNU. Vi vil rette en stor takk til vår veileder professor Anders Skonhoft, som har satt av mye tid og gitt oss verdifull veiledning gjennom denne prosessen. Vi vil også takke Biomar Group som har bistått med data og svart på spørsmål fra oss om produksjonen og innholdet i fiskefôret deres. Til slutt vil vi rekke en siste takk til Siri Aurland Bredesen som har korrigert oppgaven vår gjennom en språkvask.

Denne masteroppgaven er i sin helhet et felles arbeid utført av Magnus Vrenne Domben og Vetle Bjøringsøy Johnsen

Trondheim, 01.06.2018

Magnus V. Domben og Vetle B. Johnsen

Sammendrag

Formålet med denne oppgaven er å kartlegge det bio-økonomiske fotavtrykket til den norske lakseproduserende oppdrettssektoren, og undersøke hvilke effekter en produksjonsøkning har på innsatsfaktorene de benytter. For å undersøke denne problemstillingen benytter vi en interaksjonsmodell for pelagisk fisk og rovfisk fra havet, for å se hvordan den eksogent bestemte bestanden av oppdrettslaks påvirker de ville fiskeartene. Videre benytter vi verdier på oppdrettslaks, fôringsfaktor, andel plante- og fiskemateriale i tørrfôret, laksedødelighet, pelagisk fettinnhold og utnyttelsesgrad av fiskeolje til å beregne laksesektorens estimerte soya- og fôrfiskeforbruk i dag. Deretter benytter vi de samme variablene og predikerer forbruket av soya og fisk på bakgrunn av vekstutsiktene i SINTEFs perspektivmelding «Verdiskapning basert på produktive hav i 2050».

Vi finner ut at lakseproduksjon, gitt av konsesjoner, påvirker de ville fiskebestandene i havet negativt. Økt etterspørsel etter pelagisk fisk fra laksesektoren reduserer den pelagiske fiskebestanden, noe som igjen reduserer mattilførselen, og derav bestanden, til den ville rovfisken. Produksjonen av oppdrettslaks medfører også en alternativkostnad ved at store mengder billig pelagisk matfisk, til menneskelig konsum, i stedet for blir brukt til fôr for en mindre mengde dyr oppdrettslaks. Denne negative alternativkostnaden øker når produksjonen blir større.

I beregningene våre finner vi ut at den estimerte pelagiske fiskemengden som går med i oppdrettsproduksjonen, med dagens verdier, blir nesten det dobbelte av det som faktisk produseres av laks. Dette gir en vesentlig høyere FIFO-koeffisient enn det som rapporteres fra de store fôrproduzentene i dag, som følge av antakelsene vi har gjort om fôrproduksjon. I fremtiden vil mesteparten av det som fanges av verdens pelagiske småfisk gå til oppdrettsnæringen, og for én av vekstutsiktene vil det predikerte forbruket i 2050 være større enn dagens høsting. I tillegg finner vi, i det samme tilfellet, at det predikerte soyakonsumet vil benytte 1 686 504 millioner hektar land i lakseproduksjonen, noe som tilsvarer nesten det dobbelte av Norges dyrkbare landområder.

I dag har det kommet nye substitutter til innsatsfaktorene som benyttes av laksesektoren. Hvor godt disse fungerer og hvordan de påvirker laksens kvalitet og miljøet er usikkert. Det er derimot tydelig at den voksende laksenæringen ikke kan ha den samme innsatsfaktorbruken og dødeligheten som i dag, i tiden fremover.

Abstract

The main goal of this paper is to map the bioeconomic footprint of the Norwegian salmon industry, and to look at what effect a production expansion will have on the inputs used in today's production. To investigate this issue, we use an interaction model for marine pelagic and predatory fish, to see how the wild fish stocks get affected by the exogenously determined salmon stock. Further we use the values of salmon production, feed conversion rate, share of plants and fish material in the dry feed, salmon mortality rate, pelagic fat content as well as the degree of utilization of fish oil to calculate the industry usage of soy and feed fish in today's production. Then we use the same variables to predict the soy and fish usage based on the growth predictions in SINTEF's report "Verdiskapning basert på produktive hav i 2050".

We find that the salmon production, given by the concessions, affects the wild fish stocks negatively. Increased demand for pelagic fish from the salmon industry reduces the stock of the pelagic fish, which reduces the food supply, and thereafter the stock, of the wild predatory fish. The production of salmon leads to an opportunity cost through the usage of pelagic fish, as this reduces the direct human consumption of this good, as it gets used to feed the more expensive salmon. This negative opportunity cost increases as the production increases.

Our predictions find that the pelagic stock that gets used in the salmon production, at today's levels, are close to twice the amount of salmon produced. This gives a significantly bigger FIFO-coefficient than what the fish food manufacturers and the industry report, as our assumptions of the production are different. In the future most of the world's caught pelagic fish will be consumed by the aquaculture, and in one of our growth predictions for 2050, the predicted amount of pelagic fish used by the industry, will be bigger than the amount caught today. In the same experiment we saw that the soy needed to sustain the predicted salmon production will use an area of 1 686 504 million hectare, which is close to twice of Norway's cultivable lands.

Today there exist substitutes for the inputs used in salmon production. How well these work and how they affect the salmon quality and the environment is uncertain. It is apparent that the growing industry will not be able to sustain the same input and mortality rates in the future, as it has today.

Innhold

1 Innledning	1
1.1 Oppdrettsnæringens utfordringer	1
1.2 Problemstilling og disposisjon	2
1.3 Tidligere litteratur	3
2 Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen	5
2.1 En suksesshistorie	5
2.2 Oppdrett av ferskvannsfisk.....	6
2.3 Oppdrett i Norge.....	7
2.4 Laksens produksjonssyklus	8
2.5 Den norske lakseoppdretten	8
2.6 Miljøproblemer.....	12
2.7 Tiltak og reguleringer.....	14
3 Fôrings-innholdet for norsk oppdrettslaks	17
3.1 Fôr-introduksjon (historiske perspektiver).....	17
3.2 Verdens fiskebestander	20
3.3 Kostnadsvekst, fôr.....	22
3.4 Oppdrettsnæringen og husdyrproduksjon	24
3.5 Alternative arter i fôret.....	24
4 Modellen	27
4.1 Den stiliserte modellen.....	27
4.2 Interaksjon og vekst	34
4.3 Nye likevekter	40
4.4 Den regnskapsmessige formuleringen	46
5 Estimer og predikasjoner	48
5.1 Dagens verdier.....	48
5.2 Fremtidig vekst.....	51

5.3 Planter.....	55
5.4 Krill som fôr.....	57
6 Konklusjon.....	59
A. Referanser	i
B. Appendiks.....	ix
B.1. Kap 2.....	ix
B.2. Kap 4.....	xx
B.3. Kap 5.....	xxviii

1 Innledning

På et FN-toppmøte i 2015 ble verdens ledere enig om en 17-punkts plan for å forbedre verden. Punkt to på denne listen omhandlet verdens manglende mattilgang, og de fremtidige utfordringene som vil oppstå ved en forventet voksende befolkning. Jordbruket og ferskvannsoppdrettet hadde lenge bidratt med nyvinninger for å øke den globale matproduksjonen. En høy vekst i produksjonen av ferskvannsfisk vedvarte over lenger tid, men på grunn av usikkerhet i det fremtidige tilbudet av ferskvann bremsset veksten opp. Det ble derfor et ønske om å satse på fiskeoppdrett av marine arter, for at sektoren skulle bli nok en sentral bidragsyter i det globale mattilbudet.

1.1 Oppdrettsnæringens utfordringer

Opprinnelig var bidraget fra marinoppdrettet og den norske oppdrettsnæringen, som i all hovedsak består av lakseproduksjon, lite givende, sett i sammenheng med en økt global matproduksjon. I starten konsumerte oppdrettsfisken store mengder villfisk, som fôr, slik at økt produksjon satte et press på de ville bestandene. Fôrfisk, som ble en dyr innsatsfaktor, begrenset næringens vekstpotensial og gjorde det like effektivt å høste fisk rett fra havet som fra merdene (Naylor et al., 2009). Fiskeoppdrett, som skulle hjelpe til ved å avlaste villfisket og fungere som en ny og stabil matkilde, endte opp med å gjøre det motsatte. Næringen bidro i stedet til å forsterke det globale overfisket, og til å redusere de opprinnelige fangstfiskerienes overlevelsessevne («the fish meal trap») (Asche & Bjørndal, 2011). Fisk som fôr viste seg å være utfordrende, ikke bare for fôringsarten i seg selv, men også for de ville fiskebestandene som var avhengige av arten, lenger opp i næringskjeden (Hannesson, 2003).

Ettersom tilbudsveksten av fôrfisk var begrenset, tatt i betraktning at mange av fiskesortene som ble benyttet som fôr allerede var overfisket, steg fôrkostnadene i takt med oppdrettsnæringen. Fôrkostnadene utgjorde den desidert største delen av de totale utgiftene, slik at økte priser på fôrfisk gjorde en overgang fra fôr med bare fiskebaserte produkter til en diett med mer plantemateriale økonomisk gunstig. Vridningen ga en redusert etterspørsel etter fôrfisk, men medførte et økt behov for planteingredienser. Hvete, mais, raps og soya som inneholder proteiner som laksen trenger for å vokse ble tilført fiskefôret. Av ingrediensene var soya den mest brukte plantearten (Lindahl, 2014). Høy etterspørsel fra oppdrettssektoren medførte en økt soyaproduksjon, og dermed et økt press på en allerede voksende næring som var hardt kritisert for sin ekspansjon på bekostning av verdens regnskoger. Den økte

Innledning

planteandelen virket derfor isolert sett positivt på fiskeforbruket, men skapte samtidig nye utfordringer som oppdrettsnæringen måtte ta hensyn til.

Et annet stort problem som oppsto for oppdrettssektoren, var utbredelsen av lakselus og kostnadene som medfulgte ved rensing. I starten ble lusens fremvekst begrenset med bruk av kjemikalier og antibiotika, som senere ble byttet ut med vaksiner. Høye rømmingstall og utslipp fra oppdrettsanlegg skapte diskusjon og negative oppslag i mediene. For å ta fatt på den negative trenden ble forskjellige tiltak iverksatt. Bøter for rømt fisk skulle dempe rømmingen og mekaniske rensingsmetoder av fisken ble implementert for å bekjempe lus, samtidig som det ble definert strenge krav til lusetetthet i merdene. Kombinasjonen av overgang til mekanisk rensing og strenge krav medførte en stor påkjennelse på laksen. Dødeligheten økte raskt, og kostnadene fra industrien måtte dermed dekkes av en lavere andel slakteferdig fisk (Iversen et al., 2017). Et naturlig kostnadsbesparende tiltak var en endring av fôrsammensetningen. Nye innsatsfaktorer som for eksempel billigere fôrsubstitutter, en svekket norsk krone, og en rask prisvekst som følge av svekkelsen i veksten til laksetilbudet, gjorde at næringen fortsatt var profitabel.

1.2 Problemstilling og disposisjon

I denne oppgaven vil vi kartlegge det bio-økonomiske fotavtrykket til den norske lakseproduserende oppdrettssektoren, og undersøke hvilke effekter en produksjonsøkning har på innsatsfaktorene sektoren benytter. For å undersøke denne problemstillingen vil vi ved hjelp av en interaksjonsmodell for pelagisk fisk og rovfisk i havet, se hvordan den eksogent bestemte bestanden av oppdrettslaks påvirker de ville fiskeartene. Vi vil videre benytte verdier på oppdrettslaks, fôringsfaktor, andel plante- og fiskemateriale i tørrfôret, laksedødelighet, pelagisk fettinnhold og utnyttelsesgrad av fiskeolje, til å beregne laksesektorens estimerte soya- og fôrfiskeforbruk i dag og videre i fremtiden. Fremtidig produksjon er basert på vekstutsiktene i SINTEFs perspektivmelding "Verdiskapning basert på produktive hav i 2050" (Olafsen, Winther, Olsen & Skjermo, 2012). Rapporten har blitt mye referert til av politikere og la grunnlaget for et mål om en femdobling av næringens verdi. Ut fra beregningene av forbruket vil vi få en indikasjon på hvordan laksenæringen bidrar i det globale overfiskeproblemet, og om en økning i produksjonen i det hele tatt vil hjelpe til med det globale tilbudet av mat.

I dette kapitlet har vi introdusert noen av utfordringene til oppdrettsnæringen og presentert problemstillingen vår. Vi vil videre gi en kort gjennomgang av tidligere litteratur som er relevant for oppgaven vår. Kapittel 2 og 3 gir et innblikk i fremveksten til den norske

Innledning

lakserøringen og fôringsinnholdet. Dette skaper et teori- og faktagrunnlag som vil definere rammene for modellen vi presenterer i kapittel 4. Denne modellen er teoretisk og viser interaksjon mellom pelagisk fisk og rovfisk, og hvordan den eksogent bestemte lakseproduksjonen påvirker høstingen av pelagisk fisk. I kapittel 5 gjør vi numeriske beregninger, på bakgrunn av empiriske verdier, av dagens og fremtidig lakseproduksjon, soya- og pelagisk fiskeforbruk. Der ser vi på ulike scenarioer, hvor vi betrakter forskjellig fettinnhold, vekst- og dødelighetsrater. Avslutningsvis vil vi, i kapittel 6, gi en oppsummering og konklusjon av oppgaven.

1.3 Tidligere litteratur

En av de som var tidlig ute med å formulere en biomassemodell som tar hensyn til oppdrettssektoren var Rögnvaldur Hannesson. I artikkelen «Aquaculture and fisheries» (Hannesson, 2003), som bygger på hans tidligere artikkel «Optimal harvesting of ecologically interdependent fish species» (Hannesson, 1983), ser han på en «two-species»-interaksjonsmodell (to-arts-interaksjonsmodell) bestående av to fiskepopulasjoner. Den ene populasjonen er fôrfisk, mens den andre er spiselig fisk, hvor fiskeartene er ville rovfisk og rovfisk i oppdrettsanlegg. Artikkelen hans var ikke den første som studerte interaksjoner mellom ville marine arter, eller oppdrett og tradisjonelle fiskerier, men det som var nytt var at han eksplisitt så på fôrfiskerier.

Interaksjonsmodellen som Hannesson benytter er av typen «rovdyr-byttedyr», hvor den ene fisken spiser den andre, og det antas at det er en større biomasse for arten lengst ned i næringskjeden. Videre antar modellen at populasjonen av spiselige fisk konsumerer det samme, slik at ville rov- og oppdrettsfisk er like og kan betraktes som en gruppe. Antagelsen om et homogent konsum for disse artene, er langt fra slik det er i dag hvor fiskene konsumerer forskjellig. Oppdrettsfiskens fôr inneholder store andeler plantemateriale, slik at mengden fôrfisk som går med i kultivering av fisk for menneskelig konsum, akvakultur, er mindre enn for fisken som vokser opp i havet. En annen svakhet ved at Hannesson kategorisere dem som like, er at det ikke vil være mulig å diskutere hvordan en økt høsting av vill rovfisk kan ha positive effekter på den totale høstingen av fisk. Høster man mer rovfisk, vil en større bestand av fôrfisk være tilgjengelig for oppdrettsnæringen, slik at mer spiselig fisk blir tilgjengelig for menneskelig konsum. Tilsvarende vil det være en alternativkostnad ved å øke oppdrettssektoren, gjennom en redusert høsting for rovfiskeriene. På grunn av disse problemene velger vi å utvide Hannessons modell med en egen laksepopulasjon.

Innledning

En annen artikkel som ble utgitt i nyere tid, og videreutviklet modellen til Hannesson, er «To What Extent Is Aquaculture Socially Beneficial? A Theoretical Analysis» skrevet av Esther Regnier og Katheline Schubert (Regnier & Schubert, 2016). Forfatterne benytter seg av en modell med tre populasjoner: pelagisk fisk, fôrfisk, vill rovfisk og oppdrettet rovfisk. Artikkelen har fokus på hva som skjer med det totale mattilbudet når akvakultur blir introdusert, på bakgrunn av hvordan den biologiske interaksjonen er definert. Forfatterne vektlegger konsumpreferansene til konsumentene, og inkluderer dermed også nytten til konsumentene. Vi skiller oss fra Regnier og Schubert ved at vi betrakter den norske laksenæringen og ikke hele oppdrettssektoren. Vi ser på de eksogent bestemte konsesjonene, som gir lakseproduksjonen, og ikke en dynamisk vekst for det totale oppdrettet over tid. Primært ønsker vi å drøfte fotavtrykket til laksenæringen og se på hvordan innsatsfaktorbruken definerer vekstpotensialet. I tillegg antar vi at prisen på de ville rovfiskene er eksogent bestemt. På denne måten vil et fokus på om konsumentene foretrekker vill rovfisk eller oppdrettsfisk, ikke være relevant for vår diskusjon slik som for Regnier og Schubert. Forfatternes inkludering av substitutter i produksjonsfunksjonen er forenklet, slik at en nyansert drøfting av innholdet i fôrsammensetningen blir lite meningsfylt. For at vi skal kunne diskutere råstoffbenyttelsen i dagens og fremtidig lakseproduksjon, utvider vi tolkningen i denne delen av modellen.

I begge de ovenfor nevnte artiklene ble den pelagiske arten kun definert som et potensielt fôr for annen fisk. Siden mange av artene som faller under klassifiseringen pelagisk fisk blir konsumert av mennesker, mener vi dette er en antakelse som i stor grad strider med virkeligheten. En nyansert drøfting av lakseoppdrett må derfor inkludere at forbruket av slike arter har en alternativkostnad ved at det ekskluderer menneskelig konsum.

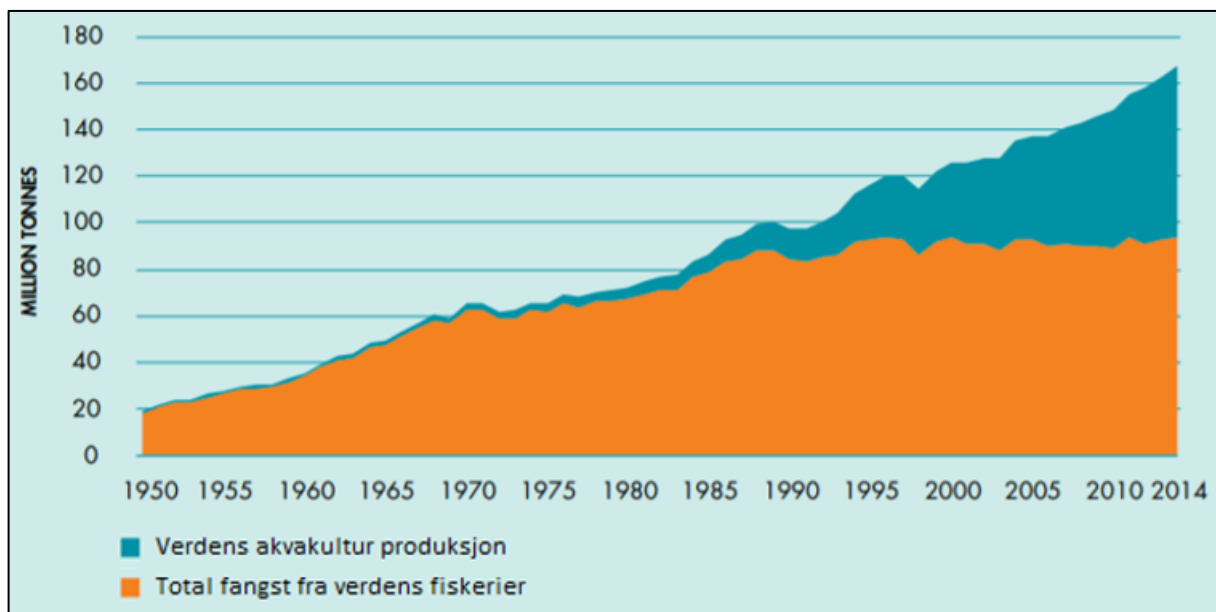
2 Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

I dette kapittelet vil vi gi en beskrivelse av hvordan oppdrettsnæringen i verden og Norge er i dag og hvordan den har utviklet seg over tid. Vi vil se på størrelsen til den globale produksjonen, oppdrett av plantespisende ferskvannsarter og Norge sin posisjon som oppdrettsland. Videre vil vi gå inn på drivkreftene bak den store ekspansjonen i laksesektoren ved å se på utviklingen i produksjonen og lønnsomheten. Deretter vil vi se på hvilke miljøutfordringer som har oppstått som følge av veksten og hvilke tiltak som har blitt iverksatt for å begrense disse utfordringene.

2.1 En suksesshistorie

Oppdrett av fisk er en gammel produksjonsmetode som ble tatt i bruk i Kina og Egypt for tusener av år siden. Allerede rundt år 460 f. Kr ble det gitt ut en bok «Fish Farming Classic», som omhandlet oppdrett av ferskvannsfisk. Boken, som ble skrevet av kineseren Fang Li, beskriver hvordan oppdrett av karpe i jorddammer fungerer. Oppdrett var i lang tid en småskala-produksjon, som følge av store teknologiske utfordringer med å kontrollere produksjon under vann. Dette begrenset fiskeoppdrett som matproduksjonsteknologi frem til en «teknologisk revolusjon» i 1970 (Røed, 2013). Etter dette tidspunktet ble kontrollert produksjon i vann både teknisk mulig og økonomisk interessant.

De tre siste tiårene har den raskest voksende matproduserende sektoren i verden vært oppdrett. I dag konsumeres nesten like mye sjømat fra oppdrett som fra hav og ferskvann (se Figur 2.1.1). Verdens villfiskfangst er på cirka 93.4 millioner tonn, mens verdens oppdrettsproduksjon, ekskludert planter, tilsvarer rundt 73.8 millioner (se Tabell 2.1.1). Av de 93.4 million tonnene



Figur 2.1.1. Verdens fangst og oppdrettsproduksjon 1950-2014. Hentet fra (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2016).

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<i>(Million tonnes)</i>						
PRODUCTION						
Capture						
Inland	10.5	11.3	11.1	11.6	11.7	11.9
Marine	79.7	77.9	82.6	79.7	81.0	81.5
Total capture	90.2	89.1	93.7	91.3	92.7	93.4
Aquaculture						
Inland	34.3	36.9	38.6	42.0	44.8	47.1
Marine	21.4	22.1	23.2	24.4	25.5	26.7
Total aquaculture	55.7	59.0	61.8	66.5	70.3	73.8
TOTAL	145.9	148.1	155.5	157.8	162.9	167.2
UTILIZATION¹						
Human consumption	123.8	128.1	130.8	136.9	141.5	146.3
Non-food uses	22.0	20.0	24.7	20.9	21.4	20.9
Population (billions)	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3
Per capita food fish supply (kg)	18.1	18.5	18.6	19.3	19.7	20.1

Tabell 2.1.1. Verdens fangst og oppdrettsproduksjon 2009-2014. Hentet fra (FAO, 2016).

benyttes mye av fisken som fôr i både oppdrett- og husdyrnæringen. Cirka 20.9 millioner tonn går til ikke-menneskelig konsum, slik at den totale produksjonen minus mengden som ikke går til mat gjør at det konsumeres tilsvarende samme mengde sjømat fra begge sektorene.

2.2 Oppdrett av ferskvannsfisk

Ferskvannsfisk («inland aquaculture») dominerer i dag oppdrettsnæringen på verdensbasis. De forskjellige fiskeartene produseres i dammer, elver, innsjøer, kanaler eller tanker, med ulike teknologiske behov og innsatsfaktorer (Troell et al., 2014). Av de totalt 73.8 million tonnene som oppdrettes i dag tilsvarer cirka 43.5 millioner av dem ferskvannsfisk (se appendiks B.1.2). I motsetning til karnivore arter, kjøttspisende fisk, som laks, torsk og kveite hvor en essensiell del av kostholdet er fisk, er arter som karpe, pangasius og tilapia plantespisere. De har et relativt lavt proteinbehov og trenger i utgangspunktet bare vegetabilsk føde. For å forbedre veksten innføres det regelmessig små mengder fiskemel i fôret, som gjør at fiskeforbruket blir høyt når produksjonen blir stor (Chiu et al., 2013). En viktig grunn til at det produseres så mye planteetende oppdrettsfisk skyldes de relativt lave kostnadene i produksjonen. Den største delen av de totale oppdrettskostnadene er tilknyttet fôret, og med høye kostnader på både fiskeolje og fiskemel gjør dette at de kjøttetende artene er vesentlig dyrere enn ferskvannsfisk å produsere (Iversen et al., 2017).

Asia er den desidert største produsenten hvor om lag 88.9 % (cirka 65 millioner tonn) av verdens oppdrett produseres (se appendiks B.1.4). Kina alene bidrar med nærmere 46 millioner

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

tonn, som tilsvarer 62 % av all verdens produksjon, hvor om lag 26 millioner stammer fra ferskvannsoppdrett. Dette gjør Kina til det største og viktigste oppdrettslandet, rangert både etter kvantum og verdi.

Mesteparten av den produserte ferskvannsfisken tilhører karpefamilien. Karpen med sine lave produksjonskostnader gjør den til en effektiv oppdrettsfisk. Artene har, i likhet med andre plantespisende ferskvannsfisk, et relativt lavt innhold av proteiner og omega 3, noe som gjør dem mindre verdsett på verdensmarkedet enn andre rovfisk og marine arter. Kina som den største produsenten oppdretter rundt 21 av totalt 28.8 millioner tonn (se appendiks B.1.5). Nesten alt dette konsumeres innenlands, slik at kun små mengder eksporteres til verdensmarkedet.

Tilapia er den mest populære fiskegruppen og oppdrettes i dag av mer enn 135 land og regioner (FAO, 2014). Det er også den arten det oppdrettes nest mest av sett i forhold til kvantum. I 2015 ble det produsert rundt 5.7 millioner tonn tilapia hvor Kina, nok en gang, toppet listene med en produksjon på nesten 1.8 millioner tonn (se appendiks B.1.5). Tilapia, sett i forhold til karpen, selges i mye større grad på verdensmarkedet, der litt over halvparten av fisken eksporteres som bearbejdede produkter (Chiu et al., 2013).

Pangasius er en enkle og hvit ferskvannsfisk som har en rask vekstperiode og blir primært fôret med pellets (tørrfôr) av ris og soya (Johannessen, 2009). Det er en robust fisk som tåler høye temperaturer, slik at den egner seg godt til oppdrett i tropiske strøk. Vietnam er den ledende produsenten og eksportøren av pangasius, hvor de i 2016 sto for omlag 70 % av verdens produksjon – som var estimert til å være rundt 1 million tonn (FAO, 2016, 2017b). Karpe, tilapia og pangasius har et lavere nivå av viktige langkjedede omega-3 fettsyrer sammenlignet med karnivore arter som laksen, men på tross av dette er de fortsatt, i motsetning til mat fra husdyr, en god kilde til fettsyrene.

Ferskvannsoppdrett er for øyeblikket den viktigste formen for oppdrett, men på grunn av det store presset fra akvakultursektoren, samt den økte veksten i befolkningen og jordbruket, har det oppstått en knapphet på verdens ferskvannsressurser. Det usikre og begrensede tilbudet av vann har redusert veksten i ferskvannsoppdrett og gitt en indikasjon på at fremtidige generasjoner må satse på en marin oppdrettsnæring (Troell et al., 2014).

2.3 Oppdrett i Norge

Norge er et viktig fiske- og oppdrettsland. Blant verdens største oppdrettsnasjoner, fordelt på total produksjon av både plante- og fiskearter, er Norge rangert som nummer 8 (se appendiks

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

B.1.1 og B.1.2). Hvis vi ser bort fra oppdrett av plantearter, ligger Norge på 6. plass i global oppdrettsproduksjon og er i tillegg det ledende landet innen oppdrett av atlantisk laks (se appendiks B.1.3). I tillegg til laks, drives det også med oppdrett av andre arter. Norge produserer også kveite, blåskjell, kamskjell og røye, men i mer begrenset grad og frem til 2014 ble det også drevet oppdrett av torsk. Etersom nesten alt av oppdrettet kvantum i Norge kommer fra laks, i tillegg til noe ørret, er den norske oppdrettsnæringen for alle praktiske formål en laksenæring. I dag står oppdrettsproduksjon for cirka 70 % av all laks på verdensbasis (de resterende 30 kommer fra villaks) hvor mesteparten kommer fra Chile, Storbritannia (Skottland primært) og Canada, i tillegg til Norge (Marine Harvest, 2016).

Norge og Storbritannia produserer primært atlantisk laks, mens Canada og Chile også produserer stillehavslaks. De gitte naturforholdene gjør at disse landene står for en så betydelig andel av lakseproduksjonen. For en effektiv og lønnsom produksjon med dagens teknologi kreves en spesiell type kystlinje og klimatiske forhold som gir Norge en vesentlig fordel. Den norske kysten med alle sine elver og fjorder tilbyr gunstige havtemperaturer, vannkvalitet og vanngjennomstrømming som tilfører laksen gode vekstmuligheter og levevilkår.

2.4 Laksens produksjonssyklus

Produksjonssyklusen i lakseoppdrett skjer over en periode på cirka 3 år. I det første året av produksjonen fertiliseres eggene, rognen, og fisken vokser til rundt 60-100 gram i kontrollerte ferskvannsmiljøer (Marine Harvest, 2016; "Norsk laks fra fjord til bord," s.a.). Etter denne fasen regnes fisken som smolt. I neste fase blir smolten fraktet ut i havet hvor de blir plassert i åpne merder og vokser til de er cirka 4-5 kilo. Denne perioden varer rundt 14-24 måneder. Fisk er kaldblodige arter som gjør dem følsomme for endringer i havtemperaturen. Temperaturen påvirker stoffskiftet og dermed veksten hos fisken, og ved store avvik fra optimal temperatur vil ikke fisken klare å overleve. Den optimale temperaturen for laks og ørret ligger på rundt 14-15 grader celsius (Norges forskningsråd, s.a.). Når laksen har nådd sin ideelle størrelse og vekt, som er sterkt avhengig av produksjonskostnadene, er den klar til å bli høstet. Fisken blir da fraktet til slakterier før de bedøves, avlives, sløyes, renses og sorteres etter størrelse og kvalitet. Den ferdige fisken fryses ned eller legges på is før den sendes ut på markedet, til Norge og resten av verden.

2.5 Det norske lakseoppdrettet

Gjennombruddet for norsk lakseoppdrett kom i begynnelsen av 1970-årene. Oppdrettsnæringen startet i det små og fungerte som en tilleggsnæring for kystbøndene og fiskerne. Pionerne som

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

startet opp lyktes med å produsere laks og regnbueørret i flytemerder i sjøen, som både var billigere og mer effektive enn landbaserte anlegg. En kartlegging av yrkesbakgrunnen til de som startet opp i 1970-årene viste at rundt en fjerdedel av dem drev med jordbruk. En tilsvarende andel kom fra fiskeindustrien, mens den resterende halvdel hadde en annen yrkesbakgrunn (Solheim, 2015).

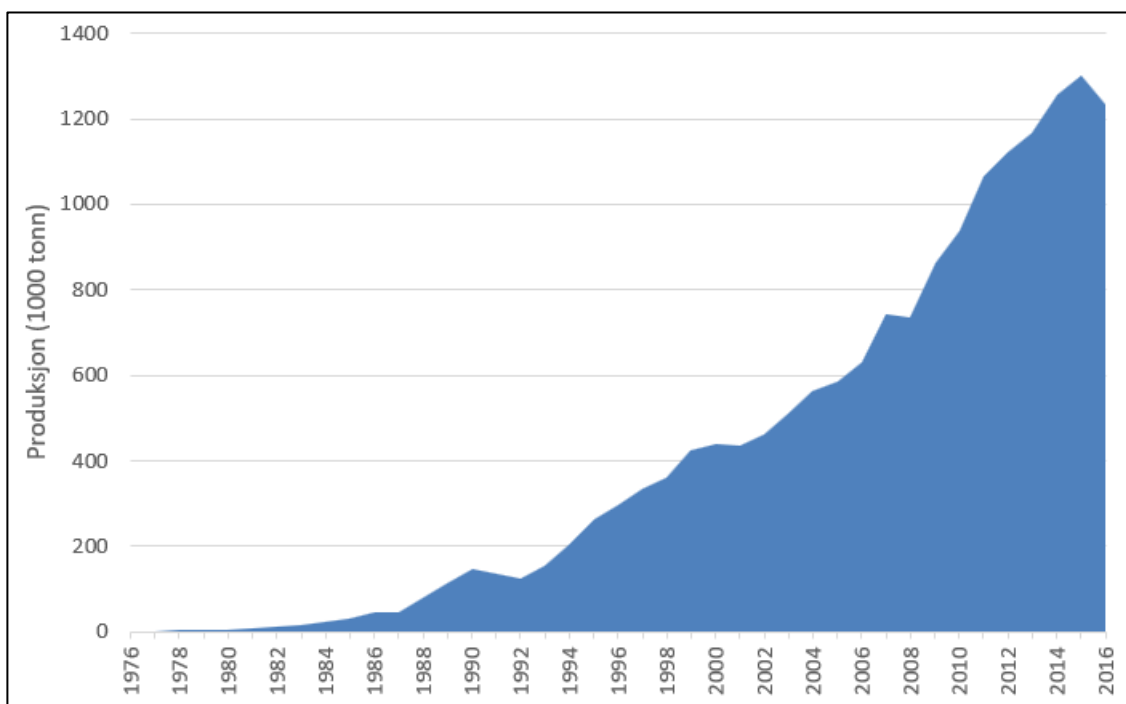
I dag kan ingen drive med fiskeoppdrett uten konsesjoner. En konsesjon er en tillatelse, utgitt av myndighetene, som man må søke om å få (Laksetildelingsforskriften, 2005). Konsesjoner avgrenses av et konsesjonsvolum, som i dag er en maksimal konsesjonsbiomasse. Det innebærer en maksimal tillatt biomasse av levende fisk (målt i kg eller tonn) som tillates i konsesjonen til enhver tid. Allerede fra tidlig 1970-tall var det krav om å ha konsesjon for de som ville drive med oppdrett, og utdeling av nye tillatelser ble brukt som virkemidler i distriktpolitikk. Målsettingen var å styrke kystsamfunnene og hindre at næringen ble en sentralisert storindustri som tok inntekter fra lokalsamfunnene. Utdeling av flere konsesjoner utover 1980-årene, hvor da særlig de nordligste fylkene ble prioritert, førte til en økt produksjon. Det høye tilbudet på slutten av 80-tallet ga opphav til en halvering av lakseprisen i løpet av noen få år, og gjorde at mange produsenter gikk konkurs. Frem til 1991 kunne ingen privatpersoner ha majoritetsandel i mer enn ett oppdrettsanlegg. Regelen var at et foretak bare kunne ha én konsesjon og eieren måtte høre til lokalsamfunnet. Nesten alle oppdrettsanlegg var registrert som enkeltmannsforetak før en endring i loven ble gjort det gjeldende året.

Den nye lovendringen, som ble innført av datidens Høyre, opphevet eierskapsbegrensingen og åpnet for utenbys kapital og eierskapskonsentrasjon gjennom oppkjøp og fusjoner. Ett foretak kunne nå ha flere konsesjoner, og foretakene ble gradvis færre og større til tross for en årvis økning i produksjonen. Oppdrettsnæringen ble som følge av dette omstrukturert fra mange små bedrifter til store internasjonale selskaper. I 1990 var det hele 990 produsenter som oppdrettet matfisk (se appendiks B.1.6), men i årene som fulgte sank antallet betraktelig. I løpet av 90-tallet ble antallet foretak som produserte matfisk halvert, og fra perioden 1999-2015 sank tallet ytterligere fra 467 til 160 (se appendiks B.1.7). Utviklingen i antall konsesjoner har derimot vært økende. Antallet tildelte tillatelser for å drive oppdrett av laks og regnbueørret har, fra 1994, økt jevnt fra 722 konsesjoner til 1067 i 2015 (se appendiks B.1.8). Utviklingen i antallet tillatelser for andre fiskearter har derimot gått andre veien, hvor antallet konsesjoner nå er under 100. I den samme tidsperioden har den samlede produksjonen av oppdrettslaks firedoblet seg, hvor de 10 største foretakene i 2015 dominerte markedet og sto for nesten 70 % av all matfisken (se appendiks B.1.9).

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

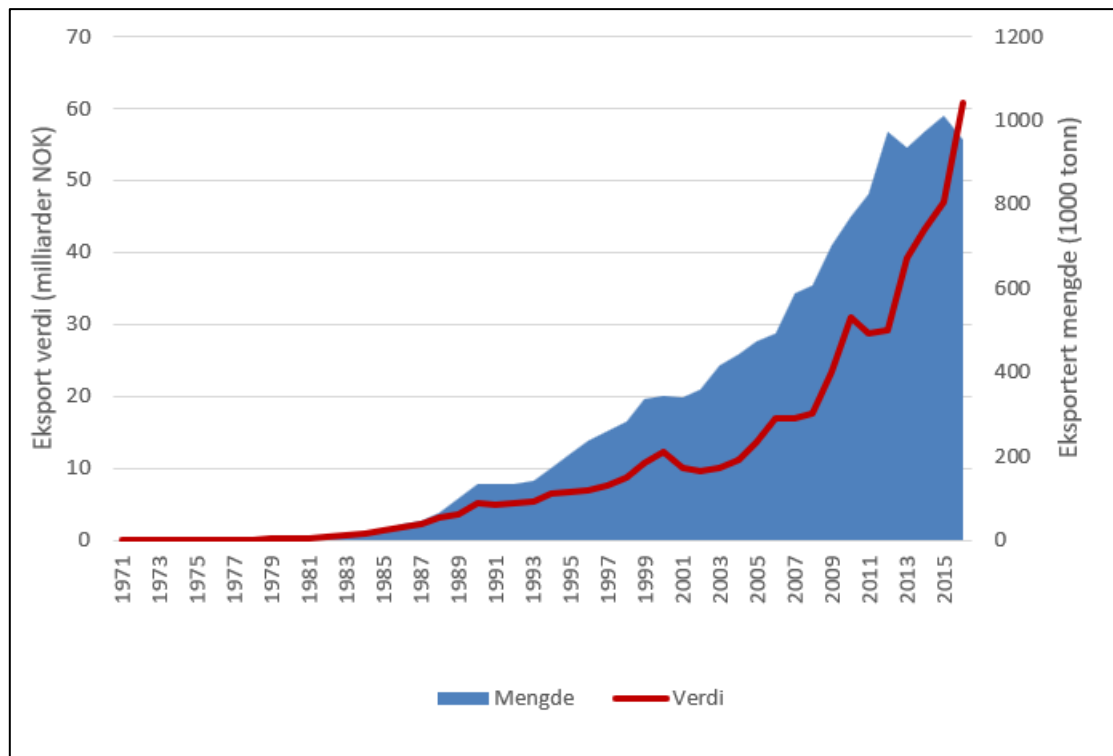
Figur 2.5.1 viser den totale produksjonen av norsk oppdrettslaks (atlantisk laks) i perioden 1976-2016. Vi ser at produksjonen på starten av 1970- og 80-tallet var beskjeden med bare et par tusen tonn i året. Etter hvert som nye og mer avanserte teknikker, billigere innsatsfaktorer og flere konsesjoner kom på markedet vokste næringen kraftig, og i dag har vi en produksjon på over 1.2 millioner tonn i året (tall fra 2016). I 2014 var verdensproduksjonen av atlantisk laks på 2.33 millioner tonn, hvor Norge alene sto for over halvparten (FAO, 2016). Nummer to på listen var Chile, som sto for rundt en fjerdedel. Europa, som er det viktigste markedet for atlantisk laks, er den største importøren av norsk oppdrettslaks, hvor Polen og Frankrike topper listene (se appendiks B.1.10). Mesteparten av laksen eksporteres som fersk og frossen hel-fisk, noe som gjør at mange av storimportørene selv fordeler, pakker og videreselger norsk laks og lakseprodukter til andre land. Tyskland, som i dag befinner seg langt nede på listen over størst import fra Norge, ligger i realiteten på toppen i konsum sammen med Frankrike.

Grunnen til den store ekspansjonen i oppdrettssektoren i Norge er at den har vært lønnsom. I Figur 2.5.2 ser vi den eksporterte mengden og verdien av norsk oppdrettslaks som begge har økt betraktelig de siste ti-årene. I 2016 eksporterte Norge oppdrettslaks for 61.3 milliarder kroner, til cirka 90 ulike land, som er nesten 30 % mer enn det de eksporterte for i 2015 (Steinset, 2017). Det utgjorde 16 % av den samlede verdien fra norsk fastlandseksport, og to tredeler av verdien av all sjømateksport det samme året (Steinset, 2017). Dette er en stor oppgang til tross for at eksportvolumet sank med rundt 50 tusen tonn fra 2015 (fra litt over 1



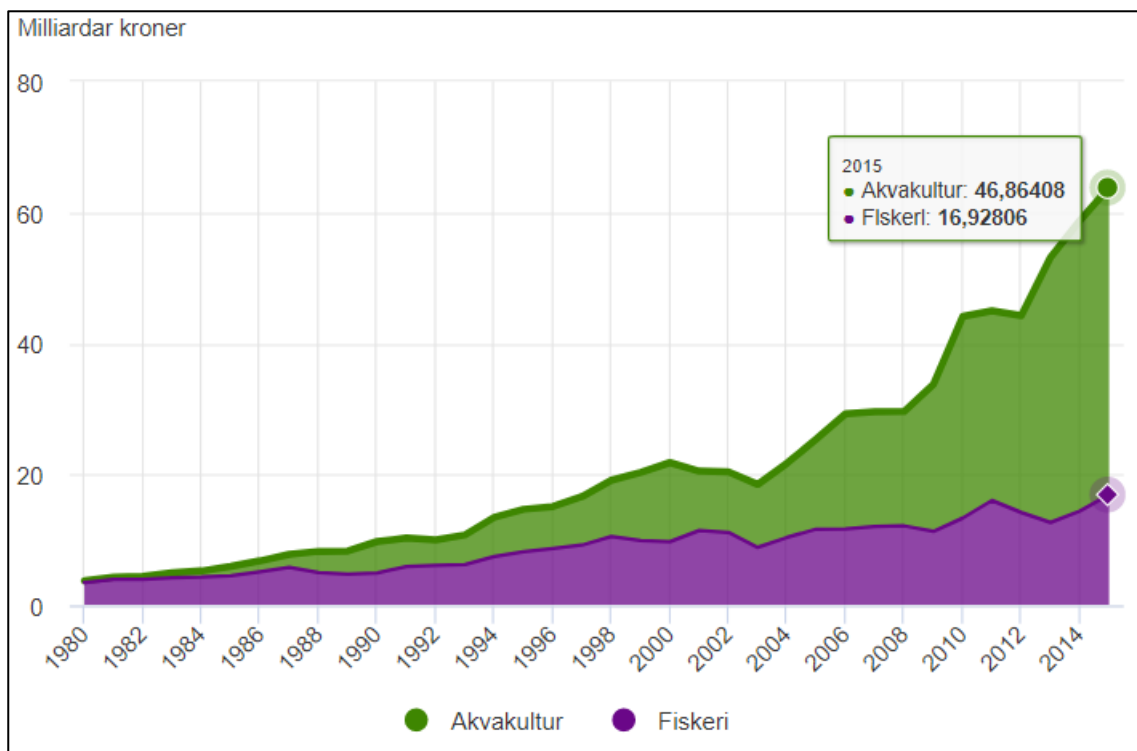
Figur 2.5.1. Total produksjon målt i salg av slaktet norsk oppdrettslaks 1976-2016. Merk: År 1991 manglet data så det er her brukt gjennomsnittsverdier for 1990 og 1992. Tall fra (Statistisk Sentralbyrå [SSB], 2017).

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen



Figur 2.5.2. Eksportert mengde og verdi av norsk oppdrettslaks (fersk og fryst helfisk og filet) 1971-2016. Tall fra (SSB, 2017a).

million tonn i 2015, til cirka 950 tusen i 2016). Rekordåret skyldes i all hovedsak en sterk etterspørsel etter norsk laks fra nærområdene i EU, Asia og USA som bidro til økte priser (Berge, 2017).



Figur 2.5.3. Samlet førstehåndsverdi for akvakultur og fiskeri 1980-2015. Hentet fra (Steinset, 2017).

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

I Figur 2.5.3 ser vi utviklingen i samlet førstehandsverdi for akvakultur og fangstfiske. I 2015 var den samlede verdien for begge sektorene nærmere 64 milliarder, hvor oppdrett utgjorde tre fjerdedeler med rundt 46.9 milliarder. Verdien av oppdrettsfisk var altså nesten tre ganger større enn verdien av fisk fra tradisjonelle fiskerier, og året etter økte forskjellen ytterligere. I 2016 var samlet førstehandsverdi for oppdrettssektoren på over 64 milliarder kroner, mens for fiskeri var den på cirka 18.7 (SSB, 2017b, 2017c). I lønnsomhetsundersøkelsen til fiskeridirektoratet, for produksjon av laks og regnbueørret i Norge 2016, kommer det frem at de gjennomsnittlig totale driftsinntektene, per oppdrettselskap, var på over 596 millioner kroner (se appendiks B.1.11). Dette året var det totalt 84 selskaper med i utvalget, i tillegg til 743 tillatelser. De gjennomsnittlige driftskostnadene var derimot bare på om lag 381 millioner, som ga et driftsresultat på nærmere 214 millioner kroner. Det er en stor profitt som tilsvarer i overkant av 24 millioner kroner per konsesjon (se appendiks B.1.12).

2.6 Miljøproblemer

Negativ miljøpåvirkning er fra et økonomisk perspektiv ulike former for negative eksternaliteter (Asche & Roll, 2014). Dette kan være avfall og andre skadelige utslipp som direkte påvirker andre aktører eller offentlige goder negativt, gjennom økte kostnader eller reduserte inntekter. Det kan også være en indirekte negativ miljøpåvirkning gjennom at oppdrettsfisk rømmer. Rømmingen øker sannsynligheten for spredning av sykdommer, konkurranse om gyteområder og uønskede genetiske variasjoner i villaksbestander. I store samlinger av anlegg øker sannsynligheten for spredning av sykdom og dødelighet. Bakterier, virus og parasitter sprer seg hyppigere når det er stor tetthet i merdene, slik at det blir høyere risiko for negativ påvirkning på lokalmiljøet rundt oppdrettsanleggene (Svåsand et al., 2017).

Akkumulert avfall fra anleggene, i form av kloakk og fôrspill, påvirker havbunnen og den ville faunaen. Fôrspill, som er mat oppdrettsfisken ikke spiser og som derfor ender opp på havbunnen, tilsvarer cirka 6-7 % av den totale mengden tørrfôr som benyttes i produksjonen (Torrissen et al., 2016). Dette spillet spises av villfisk og andre bunndyr, og har ført til en stor opphopning av villfisk rundt oppdrettsanleggene (Andreassen, 2012). Fiskere har hevdet at sei som fiskes i disse nærområdene er av dårlig kvalitet, men forskning fra Norsk institutt for naturforskning og Havforskningsinstituttet har dokumentert at dette ikke er tilfellet (Kraugerud, 2016a).

En annen bekymring som næringen har stått overfor var bruken av antibiotika. Før benyttet oppdretterne seg av store mengder antibiotika i fôringen for å forebygge spredning av sykdom,

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

som gjennom fôrspill ble spist av villfisk. Problemet med dette var at bakterier i villfisken ble utsatt for antibiotika, noe som ga dem mulighet til å bygge opp en resistens. Sammenlignet med andre land bruker Norge i dag lite antibiotika. Siden 1987 har antibiotikaforbruket blitt redusert med 99 % ("En gladmelding for norsk oppdrett," 2016; NORM/NORM-VET 2015, 2016). Store deler av denne betydelige reduksjonen kan tilskrives innføringen av effektive vaksiner til laks og ørret, samt andre infeksjonsforebyggende tiltak som bedre miljøforhold.

Både vill- og oppdrettsfisk må ha god vannkvalitet for å trives. Dersom vannkvaliteten blir for dårlig kan fisken miste appetitten og veksten bremses opp. Det kan også føre til at den blir mindre motstandsdyktig mot sykdommer. Kloakk fra oppdrettsanlegg sammen med økende sjøtemperatur reduserer oksygentilgangen og gir dårligere vannkvalitet. Store nærings salttilførsler forårsaker i tillegg høy produksjon av alger, og hvis forekomsten blir for stor kan det påvirke økosystemet negativt (Miljødirektoratet, 2017). Når alger dør synker de til havbunnen og brytes ned. Denne prosessen forbruker oksygen som kan føre til et for lavt oksygeninnhold på sjøbunnen, og er et problem i områder hvor det ikke er tilstrekkelig vanngjennomstrømming (Miljødirektoratet, 2016; Svåsand et al., 2017). Store utslipp fra oppdrettsanlegg kan i tillegg utgjøre en risiko for nedslamming og gjengroing av viktige vekstområder for villfisk og andre organismer. Resultatet kan bli omfattende, og gi redusert naturmangfold og hyppigere oppblomstring av giftalger. Utslipp og avfall fra oppdrettssektoren regnes ikke som et kritisk miljøproblem i dag på grunn av risikobasert overvåkning som sikrer at disse lokalitetene identifiseres og at det videre iverksettes tiltak (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015; Svåsand et al., 2017).

Noen av de største utfordringene oppdrettsprodusentene står overfor i dag er lakselus og rømning fra anleggene. Hovedproblemet med disse utfordringene er at de påvirker de ville laksestammene, selv om det er faglig uenighet om hvor stor en trussel rømt oppdrettsfisk og lakselus utgjør for villaksen (Torrissen et al., 2011). Rømning skaper hardere konkurranse om fôringsressurser og gyteområder, og man frykter at rømt oppdrettslaks vil formere seg med villaksen (Liu, Olaussen & Skonhoft, 2011, 2014). Gyting mellom artene kan endre den ville laksebestanden genetisk, noe som på sikt kan føre til mindre robuste laksestammer. Rømning gjør også at villaksen blir mer utsatt for lus og andre sykdommer. Lakselus er en parasitt av type krepsdyr som angriper laksen og kan drepe både store og små fisker, der de minste er mest utsatt. De minste takler en lavere mengde lakselus, samtidig som de er spesielt utsatt for å bli infisert i perioder om våren når de vandrer ut gjennom fjordene fra elvene til det åpne havet (Miljødirektoratet, 2015).

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

Før i tiden var det mye mindre utbredelse av lakselus og den skapte ikke de samme utfordringene som den gjør i dag. Lusen ble først et betydelig problem da lakseoppdrett vokste frem. Næringens vekst førte med seg en betydelig økning i antall verter, slik at forekomstene av lakselus langs kysten økte. Stadig voksende lusemengder medførte et høyt bruk av giftstoffer for å drepe lusene, og flere av disse kjemiske stoffene, som er ment for lakselusen, kan også være giftige for andre marine arter (Havforskningsinstituttet, 2018). Enkelte lusemidler forgifter alle typer krepsdyr, inklusiv hummeryngel, og selv små mengder av lusemiddelet kan gi sterke negative utslag (Nagelsen, 2018).

2.7 Tiltak og reguleringer

Miljøproblemene som oppsto ved oppdrett medførte at myndighetene påla begrensninger og krav til hvordan laksenæringen produserte. I dag er veksten i oppdrettssektoren begrenset med en øvre grense på hvor mye hvert anlegg kan produsere. Denne maksimalt tillatte biomassen (MTB) skal fungere som en stabilisator (Røed, 2013). Overskridelse av MTB-grensen kan på sikt føre til større spredning av sykdom, samt at parasitter som lakselus og økt avfall fra anleggene vil hope seg opp i de lokale miljøene (Fiskeri- og kystdepartementet, 2013). Ved kontroller har det ved flere tilfeller blitt påvist opptil det dobbelte av tillatt produksjonsmengde. Disse bruddene har ført til at oppdretterne har blitt ilagt høye bøter, men bøtene har ofte blitt påklaget og oppdretterne har som oftest fått medhold (Røed, 2013).

En rekke tiltak ble satt i gang for å redusere lokale utslipp. Flytting av anlegg til lokaliteter med bedre vanngjennomstrømning gjorde at det ble mindre opphopning under anleggene. Saktesynkende fôr gjorde at mindre mat ble sluppet ut av merdene og fôrfaktoren ble forbedret. Det ble også innført et tilsyn som kontrollerte faunaen under merdene, som kunne pålegge anleggene å legge ned dersom den endret seg for mye (Asche & Roll, 2014). I tillegg ble det innført en regel om at oppdrettsanleggene må brakklegges i minimum fire måneder etter at fisken er slaktet, slik at fjordbunnen får mulighet til å vende tilbake til sin naturlige tilstand. Det ble også igangsatt utvikling av vaksiner mot lus. I 1990-årene ble det utviklet en vaksine som gjorde at antibiotikabruken i produksjonen sank betraktelig (Asche & Roll, 2014). Hos laksekonsumentene var det en sterk skepsis til høyt antibiotikaforbruk, noe som ble redusert som følge av vaksinen. Dette skilte Norge fra andre land som ikke innførte vaksinen i samme grad, og ble tydelig i det amerikanske markedet hvor etterspørselen etter norsk laks økte på bekostning av den chilenske (Iversen, Hermansen, Brandvik, Marthinussen & Nystøyl, 2016).

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

Det fantes ingen spesielle krav om rapportering av rømte laks på 1970- og 80-tallet, og derfor finnes det ingen god oversikt. Oppdrettere hadde incentiver til bevisst å slippe ut syk fisk i det fri, fordi det var høyere forsikringsverdi på rømt fisk enn død (Olaussen, 2016). I dag er ikke dette tilfellet siden oppdrettere får bøter for rømning. For oppdrettere betyr fisk som rømmer et direkte tap gjennom tapt salgsværdi og ved at fisken har konsumert fôr og andre kostbare innsatsfaktorer. En rekke rømningsreducerende tiltak, som bedre merder og forbedret overvåkning, ble iverksatt for å dempe tapet. Disse tiltakene er imidlertid kostbare, og med dagens relativt lave rømningstall er det ikke klart om oppdrettere har ytterligere incentiver til å forbedre seg (Fiskeridirektoratet, 2018). Det er verdt å nevne at det er noe usikkerhet knyttet opp mot rømningsstatistikken, og flere mener at den tilsynelatende gode forbedringen skyldes underrapportering (Norges Miljøvernforbund [NMF], 2014; Svåsand et al., 2017; Taranger, Svåsand, Kvamme, Kristiansen & Boxaspen, 2014; The World Wide Fund for Nature [WWF], 2014). I tillegg til krav om rapportering fra anleggene utføres det overvåkning av mange norske elver. Overvåkningsprogrammet skal avdekke behov for både evaluering av rømningstiltak og villaksbestanden for å definere hvilke elver det kan fiskes i (Fiskeridirektoratet, 2016, 2017b; Glover et al., 2016).

Store forekomster av lus kan hemme laksens vekst. I dag er det satt terskelverdier for tillatt lusetetthet i oppdrettsanlegg for å dempe effekten av spredning og eventuell dødelighet (Karlsen, Finstad, Ugedal & Svåsand, 2016). Oppdrettere er pålagt å telle og rapportere inn tettheten av lus i anleggene sine, og lusetettheten blir målt opp mot et såkalt «trafikklyssystem». Systemet har definerte rammer for lakselusens påvirkning på ville bestander i totalt 13 forskjellige soner i Norge, og har tre klassifiseringer: grønt, gult og rødt (Nærings- og fiskeridepartementet, 2017). Den grønne klassifiseringen har lav risiko for spredning og forekomst av lakselus, og oppdrettsvirksomhetens miljøpåvirkning anses som akseptabel. Gult defineres som moderat risiko, mens rødt viser til en høy risiko og uakseptabel miljøpåvirkning (Norske Lakseelver, 2016). Kapasiteten til anleggene justeres på bakgrunn av hvordan området anleggene ligger i klassifiseres. Grønn gir oppdretterne mulighet til å øke produksjonen, mens for anlegg i gule soner må produksjonen holdes som før og røde soner medfører at produksjonen må reduseres. Dette systemet har blitt kritisert for at det kun benytter seg av én av mange miljøindikatorer.

Forebyggende lusetiltak som er satt til verks er ultralyd i vannet, utbygging av semi-lukkede anlegg, luseskjørt og spesialmerder, samt vaksiner og bedre fôr for å forhindre at lusen fester seg. Når lusetettheten har nådd et gitt nivå utføres behandlinger. Noen av disse behandlingene

Fremveksten til den norske oppdrettsnæringen

iverksettes også preventivt, som følge av at problemet blir mer kostbart å håndtere når lusebestanden er stor. Behandlingene er enten medikamentelle, som i fôr eller i andre midler, eller medikamentfrie hvor behandling kan skje med rensefisk, laser, varmtvann, ferskvann i brønnbåt eller spyling. Tiltakene har skapt høyt svinn i lakseproduksjonen de siste årene. I 2016 lå tapet på rundt 20 %, hvor dødelighet som følge av luserensing sto for en stor andel (Almås & Ratvik, 2017; Hjeltnes, Bornø, Jansen, Haukaas & Walde, 2017). Den direkte dødeligheten forårsaket av lakselus har vært nokså stabil, men på grunn av høyere dødelighet i forbindelse med mekanisk rensing sent i produksjonsfasen har snittvekten på den døde fisken økt (Iversen et al., 2017).

Vi har nå sett at det er mange potensielle miljøproblemer knyttet til oppdrettsnæringen. Dette er utfordringer knyttet til negative eksternaliteter enten direkte gjennom skadelige utslipp, som påvirker de lokale miljøene rundt anleggene, eller indirekte effekter gjennom rømming og spredning av lus og sykdommer til villaks og sjøørret. Eksternaliteter gjør at de marginale kostnadene for private aktører og samfunnet som helhet er forskjellige. De negative miljømessige kostnadene, som oppdrettsproduksjon bringer med seg, tilfaller ikke oppdretterne. De samfunnsøkonomiske marginale kostnadene, som også tar høyde de negative miljøskadene produksjonen påfører naturen og nærmiljøene, blir derfor høyere enn de private. Dette gjør at private profittmaksimerende oppdrettsaktører ikke har insentiver til å forbedre produksjonen sin, miljømessig sett. En måte å få «forurenser» til å betale på ville vært gjennom en miljøbeskatning. Problemet med dette er at det er vanskelig å prissette eksternaliteter, noe som dermed gjør beskatningen vanskelig å implementere.

Den andre miljømessige hovedutfordringen laksenæringen står overfor i dag er fôringsinnholdet og hvor mye fisk som trengs i produksjonen. Det blir stilt spørsmål om hvor fôret kommer fra og om det er fremstilt på en «bærekraftig» måte (Naylor et al., 2009). Store mengder småfisk blir fanget, og omgjort til tørrfôr, for å mate de kjøttende oppdrettsfiskene som produseres i dag. Enkelte forskere mener at disse utfordringene kan gi begrensninger på veksten i oppdrettet, mens andre mener at en begrensning er en absolutt nødvendighet for bedre å bevare viltbestander og næringen i seg selv (Naylor et al., 2000; Olaussen, 2016). I neste kapittel skal vi gå nærmere inn på fôr i lakseoppdrettet og se på hvilke utfordringer som er knyttet til det, for å undersøke hvordan utnyttelsen og sammensetningen av fôret har endret seg frem til i dag og hvilke muligheter vi har i tiden fremover.

3 Fôrings-innholdet for norsk oppdrettslaks

De siste årene har fôr-sammensetningen til den norske oppdrettslaksen gjennomgått store forandringer. Fiskeprodukter som fiskemel og fiskeolje, som lenge var de dominerende og eneste innsatsfaktorene i produksjonen av oppdrettslaks, ble i større grad byttet ut med vegetabiliske substitutter. En redusert fiskeandel i fôret førte til lavere produksjonskostnader og mindre fiskeforbruk per produserte enhet laks. Isolert sett reduserte dette benyttelsen av de utnyttede marine ressursene, men siden oppdrettsnæringen fortsatte å vokse, økte også etterspørselen etter de pelagiske artene. I dette kapittelet skal vi se nærmere på den historiske utviklingen til fôret i oppdrettsnæringen, og på de viktige fôringsparametere som benyttes i dag. Vi vil gå inn på fôrfaktoren (FCR) og «fish-in fish-out» koeffisienten (FIFO), og se på hvordan disse påvirker innsatsfaktorbruken og kvaliteten på det endelige produktet. Videre skal vi se på hvordan laksen, som oppdrettsart, presterer sammenlignet med normal husdyrproduksjon, før vi går inn på potensielle alternativer som kan benyttes i fôret i dag.

3.1 Fôr-introduksjon (historiske perspektiver)

Fisk er i dag en viktig kilde til proteiner, og i 2010 kom 6.5 % av verdens proteinkonsum fra diverse fiskeprodukter. I tidsperioden 1990-2010 var fiskeoppdrett den raskest voksende næringen av alle våre matproduserende sektorer noe som har gjort at andelen proteiner fra oppdrettsnæringen har økt de siste årene. Et problem som oppsto når oppdrettsnæringen vokste frem, var at de trengte store mengder fisk i produksjonen sin. Hyppigere bruk av fiskeprodukter genererte en alternativkostnad ved at billig fisk, som var lett tilgjengelig for fattige, ble benyttet til fôr for relativt dyre fiskearter. Fiskeproteinene de fattigste i utgangspunktet hadde tilgang til ble dermed borte, noe som begrenset deres matsikkerhet. Mattilgangen totalt, og spesielt for utviklede land, ble mer stabil, men ga ikke den samme positive effekten for de fattigste gruppene, som primært var bosatt i Asia og Afrika (FAO, 2009). Samtidig ble en del av de fattigste ansatt i produksjonen av fiskemelet, noe som forbedret deres inntekter og dermed deres muligheter for tilgang på mat (FAO, 2009).

En begrensende faktor for denne negative mattilgangseffekten oppsto fordi de rike endret sine konsumtilpasninger som følge av oppdrettet. Andre typer mat som de rike reduserte forbruket av, ble dermed lettere tilgjengelig for de fattige. Fiskefôreffektene var altså ikke like store i Europa som i de fattigere delene av verden. Fisken som ble hentet opp, for så å bli omgjort til fôr, hadde færre alternative bruksområder (FAO, 2009). Dette reduserte dermed effekten av

omgjøringen, slik at den var mindre skadelig for konsummulighetene våre enn for de ovenfor nevnte folkegruppene.

Det høye fiskeforbruket i lakseproduksjonen medførte en vekst i prisene på de fiskebaserte produktene. For at næringens vekst skulle vedvare samtidig som den opprettholdt sin lønnsomhet, måtte laksens fôringsinnhold endres. De begynte i økende grad å inkludere plantemateriale i fôret for å dekke laksens proteinbehov. Fiskeandelen falt fra cirka 90 % i 1990 til 26 % i 2016 (BioMar Group, 2016) (Ytrestøyl, Aas & Åsgård, 2015). Proteinene, som frem til dette tidspunktet kom fra overfiskede fiskebestander, kunne nå hentes fra landområder der potensialet for vekst var større. Fiskemel, som hadde vært en sentral faktor i både lakseoppdrett og husdyrproduksjon, ble benyttet i mindre grad. Prisen stagnerte og havnet på det samme nivået som prisen per proteinene i plantearter som for eksempel soya (Iversen et al., 2017). Mengden fiskeolje var derimot vanskeligere å redusere, som følge av at den er laksens primære kilde til omega 3. For laksen bidrar omega 3 til utvikling av synet, veksten og for å styrke immunforsvaret. Ettersom mengden omega 3 reduseres blir laksen mindre motstandsdyktig og mer utsatt for virussykdommer, slik at fall i tilførselen av omega 3 skaper større krav til miljøet laksen vokser i (Kraugerud, 2016b). Artikkelen «Substitution of dietary fish oil with plant oils is associated with shortened mid intestinal folds in Atlantic salmon (*Salmo salar*)» viser til hvordan et redusert omega 3-nivå medfører redusert tarmoverflate, som gir et lavere energiopptak og en lavere vekst (Moldal et al., 2014). Det presiseres at en delvis substitusjon vil være mulig, uten at laksen tar for store skader. Hvor liten mengden omega 3 kan være er fortsatt usikkert og forskes fortsatt på.

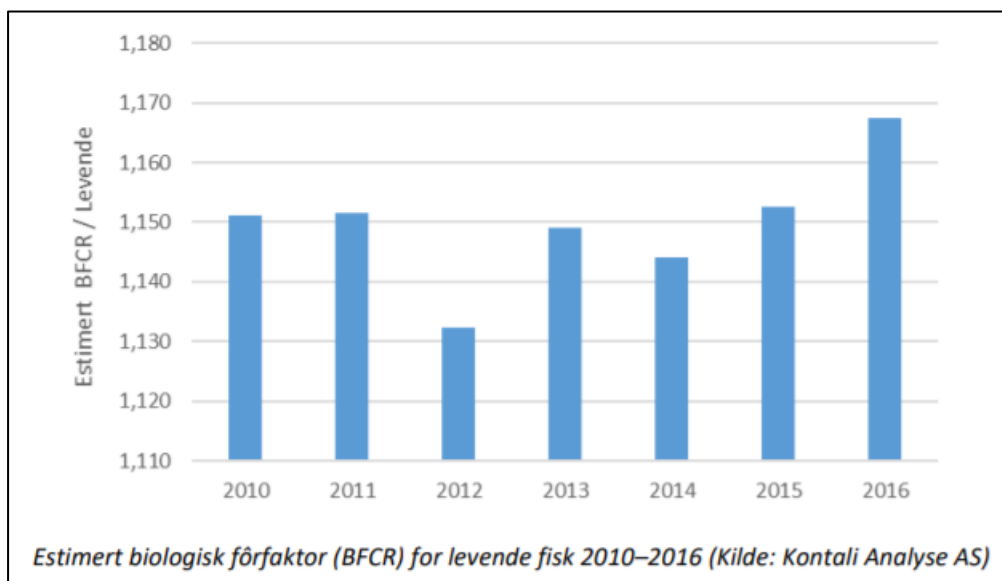
I faglitteraturen er det spesielt to parametere som viser til vekstpotensialet som følge av fôrtilskuddet. Det er parameterne «feed conversion ratio» (FCR), også kalt «biologisk fôrfaktor», og «fish in and fish out» (FIFO). FCR er den inverse av fôreffektivitet, som sier hvor mye en art vokser som følge av maten den gis. En art som oppnår et kilo etter å ha blitt fôret med 1.3kg mat, har en FCR på 1.3. På denne måten kjennetegner en lav FCR en effektiv fisk. Utfordringen med denne parameteren er at laksen i dag fôres med tørrfôr. Dette er fôr som stammer fra store mengder råstoff, som i en tørr tilstand veier mindre enn det de opprinnelige gjorde. Dette gir et skjevt bilde av effektiviteten til fiskeproduksjonen, og får tørrfôret til å fremstå som mer effektivt enn det det egentlig er. En tydelig indikator på dette ses fra produksjonen av fiskemel og fiskeolje.

Fôrings-innholdet for norsk oppdrettslaks

Ut fra gamle beregninger ble det estimert at 1000 kg pelagisk fisk kunne produsere 225 kg fiskemel og 50 kg fiskeolje (Tacon & Metian, 2008). Uten å ta hensyn til dette rapporterer FCR-koeffisienten kun 5 % av fiskemengden som benyttes i fiskeoljeproduksjonen. Denne prosenten er høyere for delen av fôret som stammer fra planter, men det gir fortsatt en indikasjon på at FCR-koeffisienten alene ikke kan benyttes til å beskrive det totale forbruket til laksenæringen. For å ta hensyn til at FCR bare måler mengden tørrfôr, benyttes isteden FIFO-koeffisienten. Denne parameteren gir den totale fiskemengden som benyttes i produksjonen av både fiskemel og fiskeolje. Eksempelvis kan man se for seg at det benyttes 1.5 kg pelagisk fisk for å skape fiskemelet og fiskeoljen nødvendig for å produsere et kilo oppdrettsfisk. Dette gir en FIFO-koeffisient på 1.5. Siden tilgangen på pelagisk fisk er begrenset, vil FIFO-verdien gi en indikasjon på vekstpotensialet for næringen.

Historisk har det skjedd store endringer når det gjelder både FIFO- og FCR-koeffisienten. Endringen i FIFO-koeffisienten startet som følge av høyere priser på råstoffene fra fisk, som derfor gradvis ble skiftet ut med vegetabiliske substitutter. For FCR oppsto den største endringen ved overgangen til tørrfôr. Før dette inneholdt fôret mye vann og hadde dermed en høyere vekt enn det nye. Fôringseffektiviteten økte ikke, men den totale vekten på fôret ble redusert. I dag er den estimerte fôrfaktoren på cirka 1.168 for levende fisk (se Figur 3.1.1).

I nyere tid har økt dødelighet i lakseoppdrettet vært en av de viktige faktorene som har påvirket størrelsen på FIFO-koeffisienten. Dødsraten har i stor grad vokst i takt med luserensingen, som følge av økte reguleringer. I følge Nofimas analyse har dødeligheten på slakteklar laks økt til



Figur 3.1.1. Estimert fôrfaktor i perioden 2010-2016. Det har vært en økning i FCR, de siste årene, som følge av at laksen har en del sultedøgn som følge av luserensing i perioder hvor vekt økningen normalt har vært stor. Hentet fra (Iversen et al., 2017).

Fôrings-innholdet for norsk oppdrettslaks

nesten 20 %, noe som medfører at store mengder fôr blir gitt til laks som aldri kommer frem til slakteriet (Iversen et al., 2017). Dødeligheten gir en reduksjon i produksjonen, og en høyere pris som følge av et redusert tilbud. En annen faktor som påvirker FCR og FIFO negativt er fôrspill. Som nevnt i kapittel 2 er fôrspill mat som faller til havbunnen og ikke blir konsumert av laks, noe som gir høyere FCR- og FIFO-koeffisient.

Før var det lite fokus på viktigheten av godt regulerte fiskebestander. Overfiske ble et stadig voksende problem ettersom de teknologiske forutsetningene for fisket bedret seg. Selv i situasjoner hvor land har brukt store summer, mange forskere og ny teknologi for å finne en optimal tilpasning har det oppstått problemer. Det canadiske torskefisket i Newfoundland er et godt eksempel på dette (Hilborn et al., 2003). Problemene med overfisket er vedvarende, og har store økonomiske konsekvenser for de berørte. For oppdrettsnæringen er det viktig at bestandene reguleres på en effektiv måte slik at uttaket av fisken som benyttes til fôr kan holdes høyt, samtidig som det for verdens globale mattilgang er viktig at ikke overfiskede bestander blir utryddet. I en verden med stadig økende klimautfordringer vil en slik kontroll bli viktigere. Endrede temperaturer påvirker ville fiskebestander utover det den menneskelige aktiviteten gjør i dag. Økt havtemperatur fører til flere orkaner og dårlig vær, som i mindre perioder begrenser fiskernes muligheter til å benytte havet, samt gir mindre fiskebestander som følge av at korallrev reduseres og dør ut. Dette er noen av utfordringene som verdens fiskeindustrier står overfor, og som direkte vil påvirke fôrtilskuddet til laksenæringen (Allison et al., 2009).

3.2 Verdens fiskebestander

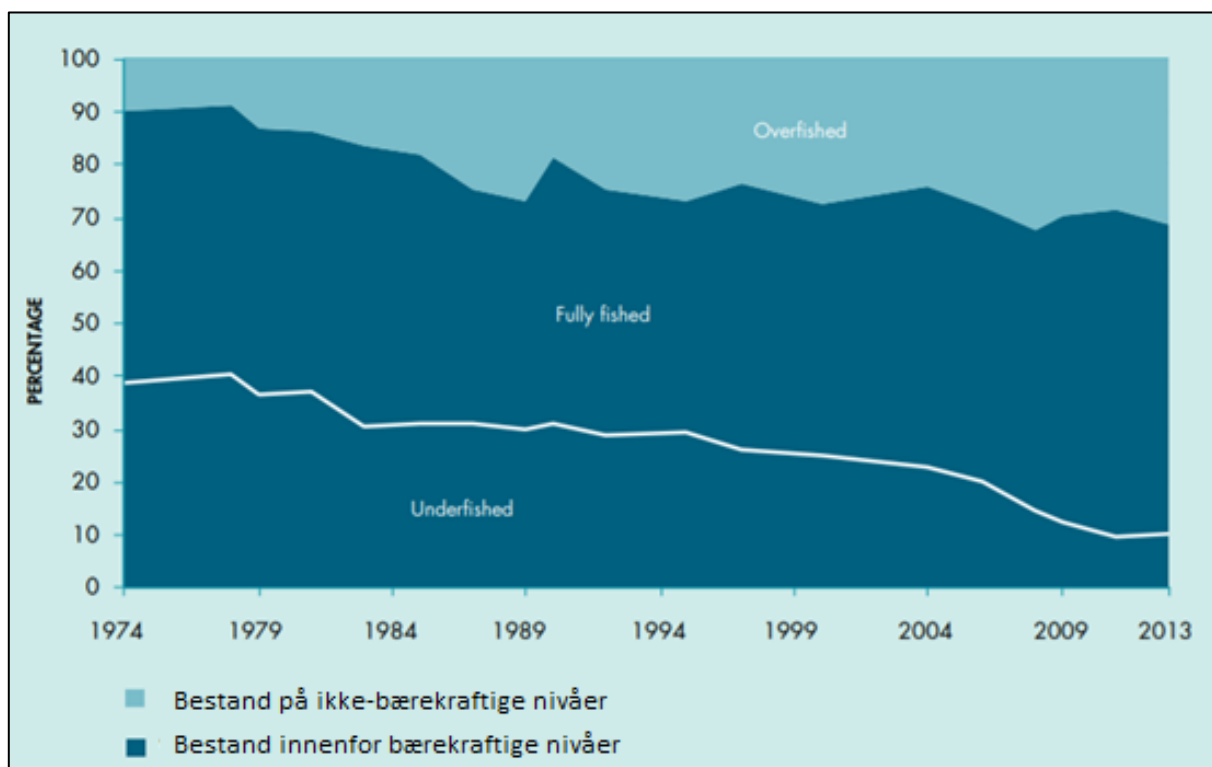
I dag er mange av verdens fiskebestander dårlig regulert. Dette kan potensielt føre til overfiskede populasjoner, som i verste fall blir utryddet, om ikke høstingsreduserende tiltak blir iverksatt. Siden fisk svømmer fritt, og har mulighet til å bevege seg mellom landegrensene i havet, er det vanskelig å regulere bestandene på en god måte med mindre alle land går sammen om en bindende avtale.

Fôrfisk er som oftest små eller mellomstore pelagiske fiskearter, som i sitt naturlige miljø er et byttedyr lengre ned i næringskjeden (Duarte et al., 2009). Store deler av verdens rovfiskbestander lever av disse artene, samtidig som de benyttes som menneskemat og i nyere tid som fôr for oppdrettsfisk. Eksempler på slike pelagiske fiskearter er sild, anchoveta og makrell (Alder, Campbell, Karpouzi, Kaschner & Pauly, 2008). De svømmer i store stimer, som gjør dem lette å høste, samtidig som de har et næringsinnhold som er nyttig for både mennesker og oppdrettsfisk. Den totale fangsten av pelagiske arter er i dag på 33.7 millioner tonn (FAO,

Fôrings-innholdet for norsk oppdrettslaks

s.a.). Fangsten består av store og små pelagiske fisk. Høstingen av små arter som sild, sardin og achoveta, er på rundt 15.5 millioner tonn, og for mellomstore og store arter som makrell, tunfisk, marlin og sverdfisk er høstingen på rundt 18.2 millioner tonn. I dag kategoriseres mange av disse artene som overfisket, en betegnelse de deler med rundt 31.4 % av verdens fiskearter. Fullt utnyttede fiskearter er beregnet til 58.1 %, mens de underfiskede artene er cirka 10.5 % (se Figur 3.2.1) (FAO, 2016).

I dag er andelen av svinn som oppstår etter at fisken er høstet, stort. I Afrika vises det til tap mellom 20-25 %, hvor noen oppgir tall opp mot 50 %, som følge av manglende redskaper for konservering av fisken (FAO, 2016). Dette tapet er begrenset i utviklede land, hvor problemer med at mindreverdige fisk kastes tilbake i havet, i jakten på større profitt, er betydelig større. Mengden fisk som kastes tilbake er antatt å ligge på rundt 8 %, som potensielt ville bidratt til mange fiskeproteiner om den ble tatt opp (FAO, 2016). Det er ikke bare fisk av dårlig kvalitet som kastes, også ung fisk av arten fiskerne er ute etter kastes på grunn av sine små størrelser som har lav verdi. «Bycatch», som er fisk som fiskes opp i jakt på andre arter, bidrar til betydelige problemer for reguleringene av verdens fiskerier. Truede arter blir høstet og skaper et høyere uttak enn det som er gitt av kvoter. Deler av denne bycatchen vil også bli kastet ut, noe som forsterker problemet. For rekefiskere er mengden fisk som blir kastet ut meget stor.



Figur 3.2.1. Utnyttning av verdens fiskebestander (FAO, 2016).

Fôrings-innholdet for norsk oppdrettslaks

Tidligere var bidraget fra sektoren på 50 % av det globale utkastet av fisk, hvor de hadde et gjennomsnitt på 5.2 kg utkast for hvert kilo reke de tok opp (Hilborn et al., 2003).

En positiv trend er at større andeler av avkapp fra matproduksjon i fiskerinæringen blir omgjort til fiskemel. I perioden 2013-2015 kom cirka 29 % av fiskemelet fra avkapp, og denne andelen er forventet å vokse til 38 % i 2025. Dette øker utnyttelsen av de marine ressursene, men avkappet har et lavere næringsinnhold enn hel fisk, noe som må bli tatt hensyn til (FAO, 2016).

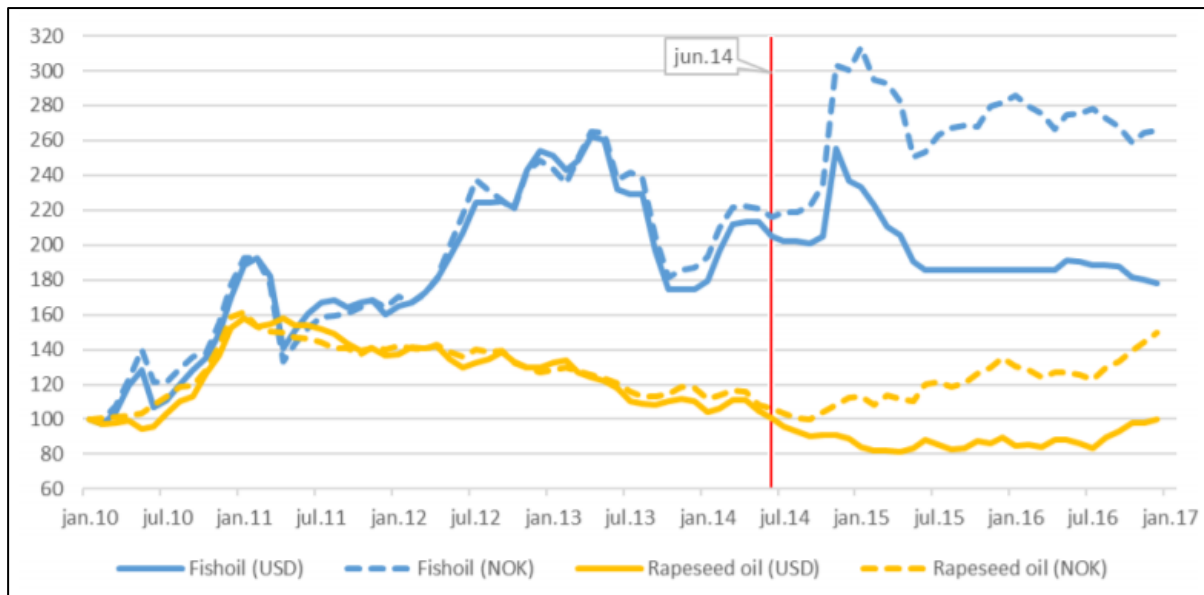
3.3 Kostnadsvekst, fôr

I oppdrettssektoren står fôret, i perioden 2010-2016, for omlag 82-85 % av de totale kostnadene (Iversen et al., 2017). De viktigste råvarene er fiskemel, fiskeolje, rapsolje og soyamel, noe som gjør prisveksten på fôret sterkt avhengig av prisutviklingen til disse innsatsfaktorene. Fiskeolje, som tradisjonelt ble hentet ut som et biprodukt fra fiskemelproduksjonen, er den minst tilgjengelige ressursen. Fra de 25-30 million tonnene med fisk som ble benyttet i global fiskemel- og fiskeoljeproduksjon, ble kun 1.1 millioner tonn fiskeolje uthentet i 2009 (Pike & Jackson, 2010). Av dette gikk cirka 5 % direkte til menneskelig konsum, mens mesteparten av den resterende mengden gikk til oppdrettsnæringen (Ivanovs & Blumberga, 2017).

Som følge av en begrenset ekspansjonsmulighet i produksjonen av fiskeolje og fiskemel, har en økt etterspørsel fra industrien løftet prisen på fiskeolje, mens prisen på melet har holdt seg stabilt (se Figur 3.3.1) (Iversen et al., 2017). Grunnen til dette er at fiskemelet har vært lettere å bytte ut med vegetabiliske substitutter enn fiskeoljen. Selv om fiskeoljeprisen fortsatte å stige, medførte substitusjonen at prisen på melet falt over tidsperioden 2010-2016, målt i dollar. Planter ble benyttet for å dekke proteinbehovet til oppdrettsfisken, og reduserte fiskeinnholdet i fôret ned mot 25 % i 2016 (tall fra Nofima), hvor Biomar rapporterer 26 % (BioMar Group, 2016; Iversen et al., 2017). Planteinnholdet utgjør cirka 63 %, hvorav 15 % er plantebaserte oljer. De resterende 11 % av fôret kommer fra landdyr, mikroalger og andre ingredienser (BioMar Group, 2016).

En substitusjon vekk fra fiskeprodukter har bidratt til å redusere kostnadsveksten i produksjonen, og samtidig muliggjort en større global oppdrettssektor. Siden reduksjonen i benyttelsen av fiskemel og olje har skjedd parallelt med en voksende næring, har ikke substitusjonen medført en betydelig nedgang i høstingen av de pelagiske fiskesortene. Overgangen har derimot skapt en økt etterspørselen etter soya. Mengden soya som i dag benyttes av oppdrettsnæringen er liten sammenlignet med den fra husdyrproduksjon, men den

Fôrings-innholdet for norsk oppdrettslaks



Figur 3.3.1. Utvikling i priser for fiskeolje og rapsolje, i både norske kroner og amerikanske dollar (Iversen, Hermansen, Nystøl & Hess, 2017).

vokser raskt (Lindahl, 2014). Høstingen av soya er ikke uproblematisk selv om den vokser på land. Store landareal som benyttes til soyaproduksjonen er skapt fra områder som tidligere var regnskog. Produksjonen medfører samtidig en alternativkostnad ved at den ekskluderer muligheter for produksjon av annen mat, som direkte kan konsumeres av mennesker.

I dag er den totale produksjonen av soya over 334 millioner tonn, hvor nesten 122 millioner hektar med landområder benyttes i prosessen (FAO, 2018). Brazil er den nest største produsenten, etter USA, hvor store deler av produksjonen skjer i regnskogsområder. Ifølge rapporten «Godt brasiliansk: En kartlegging av soyaforbruket i norsk landbruk og oppdrettsnæring» importerte Norge mer enn 900 tusen tonn soya i 2013, som var det dobbelte av det de importerte i 2004 (Lindahl, 2014). Over 80 % av importen kommer fra Brasil hvor nesten alt av soyaen er i form av soyabønner, soyamel og soyaproteinkonsentrat. Dette utgjør omtrent 95 % av den totale importen, mens de resterende 5 % er soyaolje. Av dette gikk cirka 368 tusen tonn til oppdrettssektoren i form av soyaproteinkonsentrat. Konsentratet er soyamel, bestående av omtrent 65 % soyaprotein, hvor mesteparten av karbohydratene og antinæringsstoffene er fjernet. Hovedårsaken til at Norge importerer soya fra Brazil er at landet er ett av få hvor produksjonen fortsatt er fri for genmodifiserte organismer (GMO). Det norske landbruket har ikke lov til å benytte seg av varer med GMO, og selv om laksenæringen har et fritak fra disse reglene har de ikke benyttet seg av denne muligheten.

Den økte etterspørselen etter plantemateriale til laksefôr har satt et press på den globale produksjonen av soya. Store landbruksområder blir brukt i prosessen som har ført til avskoging av Amazonas-regnskogen og den brasilianske savannen. Fôrproduksjon til husdyr har frem til

Fôrings-innholdet for norsk oppdrettslaks

nå vært den desidert største driveren for nedhugging av regnskog, men med en voksende oppdrettsnæring ser det ut til at det oppstår nok en bidragsyter til denne negative trenden.

3.4 Oppdrettsnæringen og husdyrproduksjon

Oppdrettsnæringen påvirker våre marine kystområder, globale fiskebestander og den norske økonomien. Produksjonen av laks medfører negative effekter på nærområdene som forurensende avfall, rømming og spredning av lakselus, men størrelsen på disse, og hvor sterkt de bør bli tatt hensyn til, er omdiskutert. Hvordan laksen presterer sammenlignet med kjøttproduksjon, som alltid har vært en veletablert kilde til proteiner, er blitt fraværende i deler av diskusjonen. Husdyrindustrien har i de siste årene fått mye kritikk i forhold til hvordan de bidrar til global oppvarming, nedhugging av regnskog og lokale utslipp i form av avføring. Det er derfor naturlig å sammenligne disse kritiserte sektorene, for å se om det vedligger effektivitetsforskjeller eller andre faktorer som taler ytterligere for eller mot en av dem.

Husdyrproduksjonen står i dag for rundt 14 % av de menneskeskapte klimagassutslippene, 18 % om man tar hensyn til utnyttelsen av landområder og skogbruk. Annen forskning fra EU viser til at hele matkjeden står for rundt 31 % av utslippene og 63 % av den reaktive nitrogenakkumulasjonen (Guinée et al., 2006; Pelletier & Tyedmers, 2010). Næringen benytter 30 % av verdens isfrie landområder, en tredjedel av verden ferskvann og en tredjedel av verdens dyrkede marker (Herrero et al., 2013).

Om alternativet til å spise oppdrettslaks var konsum av soya og andre planter, vil fisken være et dårlig alternativ. Sammenlignes konsum av laks mot en høyere etterspørsel etter kjøtt, som følge av en voksende befolkning, presterer fisken betydelig bedre. I dag trenger fisken et lavere proteintilskudd for å skape et kilo fiskeprotein enn det som er nødvendig i normal husdyrdrift. Dette skyldes hovedsakelig at fisken er vekselvarme vesener, som gjør at de trenger mindre energi for å opprettholde en konstant kroppstemperatur. Siden de lever i vannet slipper de å bruke energi på å motvirke tyngdekraften, noe som gjør det mulig for fisk å ha mindre skjeletter relativt til landdyr (Torrissen et al., 2011). Disse faktorene gjør at fisken er effektiv å produsere. Den er så effektiv at ved å benytte 100 kg proteiner kan man i dag produsere 65 kg laks. Fra samme mengde proteiner gir avl av kylling og svin henholdsvis 20- og 12 kg (Torrissen et al., 2011).

3.5 Alternative arter i fôret

Den fremtidige sammensetningen av fôret vil ha stor betydning for både kostnadssiden til sektoren og næringsinnholdet til oppdrettsfisken. Dette har allerede vist seg ved et fallende

innhold av langkjedede omega 3-fettsyrer i oppdrettslaksen. Nye og gode substitutter til fiskematerialet er dermed avgjørende for at oppdrettsfisken skal kunne oppnå et høyt næringsinnhold ved en videre vekst. Reduksjon i utkast av fisk fra fiskeriene er et av tiltakene som skal bidra til å dekke det voksende fôrbehovet. De nye substituttene skal ikke bare basere seg på plantemateriale, men også på andre mindre utnyttede arter fra havet. I dag lages fôret primært fra den pelagiske fisken som befinner seg midt i næringskjeden og som, nevnt tidligere, har et minimalt vekstpotensial. I artikkelen «Resources for fish feed in future mariculture» av Yngvar Olsen (2011) vises det til at et økt biomasseuttak er mulig om det høstes fra arter lenger ned i næringskjeden. BioMar rapporterer at en slik høsting allerede har startet, ettersom de har begynt å bruke krill og microalger i fôret til laksen (BioMar Group, 2016).

Et dyreplankton som i dag er aktuelt som en innsatsfaktor i fôret er antarktisk krill. Krillbestanden har en høy biomasse og inneholder omega 3. Denne arten er i dag underutnyttet, og av de 6 millioner tonn som er tillatt for høsting utnyttes bare i underkant av 1 million tonn (Naylor et al., 2009). Det er forventet at arten har en biomasse på 125-700 millioner tonn, mens den estimert bestanden er nærmere 500 millioner tonn (Olsen, 2011; ScienceDirect, 2018). Ut fra en levetid på 6 år gir dette en årlig tilvekst på i overkant av 100 millioner tonn, slik at høstingsmengden i dag er liten. Gruppene krill og hoppekreps utgjør de største bestandene av noe levende vesen på jorden, uten at de blir utnyttet. Utfordringen ved å benytte krill som fôr blir forsterket som følge av at arten i stor grad er utsatt for effektene av den globale oppvarming. Oppvarmingen medfører høyere temperatur i havet, som allerede har medført en reduksjon i bestanden siden 1970-tallet (Atkinson, Siegel, Pakhomov & Rothery, 2004). Siden krillen er så ømfintlig for en slik type menneskelig påvirkning, er det behov for tett oppfølging om bestanden skal høstes.

Oppdrett av mikroalger har også et stort potensial. BioMar har i dag startet en produksjon av slike alger i Brazil, og ut fra andres forsøk fremstår produksjonen som skånsom mot naturen og med et potensial for vekst. Algene mates med lokalproduserte sukkerrør, som primært benytter seg av regnvann for å vokse (BioMar Group, 2016). Disse algene inneholder DHA som er en av de langkjedede omega 3-fettsyrene som dagens oppdrettsfisk har begynt å vise mangler på. En produksjonsutvidelse og økt høsting av slike alger kommer derfor ikke på bekostning av andre arter, slik som for krillen. Algeproduksjonen stiller store krav til sollys og skyfri himmel, noe som begrenser produksjonsområdene. Den gjøres ikke i stor nok skala til at den kan erstatte fiskeoljen på kort sikt, men som beskrevet i artikkelen «A techno-economic analysis of industrial production of marine microalgae as a source of EPA and DHA-rich raw material for

Fôrings-innholdet for norsk oppdrettslaks

aquafeed: Research challenges and possibilities», er det et fremtidig potensial (Chauton, Reitan, Norsker, Tveterås & Kleivdal, 2015).

Soya fungerer som et effektivt produkt for å tilføre laksen proteiner, men det kan ikke øke omega 3-innholdet i fisken. En plante som inneholder begge de viktigste fettsyrene, EPA og DHA, er Camelina. Den krever lite vann og har kun noen få begrensninger gitt av jordsmonnet den er plantet i. Flere forskergrupper har klart å fremstille utgaver av arten som har et høyt innhold av fettsyrene i frøene (Murphy, 2016). Den ene arten hadde et innhold på 12 % av EPA og 14 % av DHA, noe som tilsvarer mengdene vi finner i fiskeoljer (Ruiz-Lopez, Haslam, Napier & Sayanova, 2014). Utfordringene med slike planter er at de faller under bestemmelsene for GMO. Oppdrettsnæringen unngår slike produkter, som følge av en lav aksept blant konsumenter i den vestlige delen av verden, selv om de i utgangspunktet kan benytte seg av dem i fôret.

4 Modellen

Dette kapittelet vil ta for seg vår teoretiske modell. Vi starter med en stilisert modell, før vi løser den eksplisitt. Modellen betrakter tre populasjoner av fisk: pelagisk fisk, vill rovfisk og oppdrettsfisken – laks. Modellen tar for seg interaksjon mellom rovfisk og den pelagiske fiskebestanden, og viser hvordan etterspørselen etter fôr-fisk fra laksesektoren påvirker de to ville fiskebestandene og etterspørselen etter substitutter i fôret til laksen.

4.1 Den stiliserte modellen

Vi antar at konsesjonene, som angir lakseproduksjonen, er eksogent bestemt. På grunn av laksesektorens høye profitt antar vi at oppdrettsnæringens produksjonstilpasning alltid vil være lik konsesjonene og at sektoren er den eneste som etterspør pelagisk fisk. De pelagiske artene som makrell, sild og anchoveta er av lav verdi og høstes som fôr for oppdrettssektoren. Vi antar at den pelagiske fiskepopulasjonen høstes i en såkalt «open access»-løsning, der profitten til fiskerierne blir konkurrert bort. I denne løsningen benytter aktørene en relativt høy innsats, som leder til en lav fiskebestand. Denne antakelsen bygger på hvor godt reguleringssystemet til verdens fiskebestander er og hvordan det er definert. Dårlige reguleringer, som vil si at det ikke er klart definerte regler på hvor mye fisk som kan høstes i forskjellige perioder og områder, kan føre til stor grad av overfiske, noe som peker på en open access-løsning. I dag vet vi at tilstanden til mange av verdens ville fiskebestander er så godt som fullt utnyttet, og i mange tilfeller overutnyttet, noe som ikke gjør antagelsen om open access urimelig.

Tidligere litteratur, Hannesson (2003) og Regnier & Schubert (2016), antar en «maximum economic yield» (mey) -løsning for rovfisken, hvor aktørene, etter definisjon, er profittmaksimerende og har en lavere innsats i høstingen som gjør at bestanden er relativt stor – i likevekt. Rovfiskarter som torsk, sei og kveite er, i likhet med oppdrettslaks, verdifull fisk som konsumeres av mennesker. Vi antar at rovfisken høstes i mey, og at prisen på rovfisk for enkelhetsskyld er eksogent bestemt. Reguleringene inkluderer kvotesystemer der maksimal høsting av rovfisken defineres.

I denne oppgaven vil vi ta utgangspunkt i likevektsløsningene for de ville fiske bestandene, som følge av at vi ikke ønsker å studere hvordan bestandene endres over tid. All oppdrettsfisk antar vi høstes i slutten av en periode, slik at høstingen er lik bestanden. Vi skiller heller ikke mellom de ulike fôrbehovene på de forskjellige stadiene i laksens liv. Dette gjør vi som følge av at vi ønsker å se på det aggregerte fôrforbruket til laksesektoren. På bakgrunn av det vi tidligere diskuterte i kapittel 3, definerer vi innholdet i fôret som pelagisk fisk og planter. Vi

Modellen

antar at prisen på plantematerialet er eksogent bestemt siden etterspørselen fra laksenæringen er liten i forhold til de resterende aktørene.

Vi antar at fiskere ikke kan bevege seg mellom sektorene, slik at pelagiske fiskere ikke vil kunne søke høyere profitt ved å høste rovfisk. Antakelsen kommer fra at bestandene høstes i forskjellige områder, slik at fiskerne fisker arten som er tilgjengelig der de er. Samtidig er det kvoteringsystemer for rovfisken, slik at pelagiske fiskere ikke vil ha mulighet til å høste disse artene selv om det ville økt deres profitt.

Vi starter med å presentere den bakenforliggende biologien til de to ville fiskebestandene. Siden vi betrakter likevekts løsninger vil bestandsendring over tid, gitt av naturlige tilvekst ($G_i(X_2, X_3)$) og høsting (Q_i) være lik null. Fra dette vil bestandsendring over tid \dot{X}_i , hvor $i = 2, 3$, defineres av funksjonene:

$$(4.1.1) \quad \dot{X}_2 = G_2(X_2, X_3) - Q_2 = 0$$

$$(4.1.2) \quad \dot{X}_3 = G_3(X_2, X_3) - Q_3 = 0$$

I funksjonene er 2 og 3 henholdsvis rovfisk og pelagisk fisk. Den naturlige tilveksten inkluderer vekst og interaksjonen mellom de ville fiskeartene uten menneskelig påvirkning. En større bestand (X_i) av pelagisk fisk øker mattilgangen til rovfisk og derav rovfiskebestanden. Motsatt vil en større bestand av rovfisk føre til mer predasjon og en redusert pelagisk bestand. Størrelsen på høstmengden antar vi er positivt avhengig av både innsatsen som benyttes i høstingen (E_i), og bestanden til arten som høstes. Open access bestanden er avhengig av prisen (P_i) på den pelagiske fisken, som vist under i (4.1.7) - (4.1.9). Vi setter derfor inn for P_3 i høstingsfunksjonen til den pelagiske arten. Den samlede høstingen for hver av artene ser vi derfor for oss som:

$$(4.1.3) \quad Q_2 = Q_2(E_2, X_2)$$

$$(4.1.4) \quad Q_3 = Q_3(E_3, P_3)$$

Setter inn for Q_2 og Q_3 i (4.1.1) og (4.1.2), og viser til likevekt mellom tilvekst og høsting, når bestanden er konstant over tid:

$$(4.1.5) \quad G_2(X_2, X_3) = Q_2(E_2, X_2)$$

$$(4.1.6) \quad G_3(X_2, X_3) = Q_3(E_3, P_3)$$

Modellen

En økning i innsatsen fra rovfiskfiskeriene vil derfor direkte redusere bestanden av rovfisken, og indirekte øke bestanden til den pelagiske fisken. Generelt vil en økt innsats i fiskingen av pelagiske fisk direkte redusere den pelagiske bestanden, og som følge av interaksjonen redusere rovfisk bestanden.

Fiskeriene som høster den pelagiske arten høster på bakgrunn av en open access-tilpasning. Denne tilpasningen medfører at all profitt faller bort, slik at høstingen blir gitt av tilpasningen der kostnadene er lik inntektene. For å illustrere dette viser vi til en enkel profittfunksjon, og en Schaefer-høstingsfunksjon, som vi videre vil gå inn på i kapittel 4.2.

$$(4.1.7) \quad \Pi_3 = P_3 Q_3 - C_3 E_3 = 0$$

Funksjonen forteller oss at profitten til de pelagiske fiskeriene er avhengig av prisen på fisken og høstingsmengden, som utgjør inntektene fratrukket kostnadene. C_3 viser til enhetskostnadene ved innsats lagt inn i høstingen. Schaefer-funksjonen formuleres som:

$$(4.1.8) \quad Q_3 = \theta_3 E_3 X_3$$

θ_3 er en produktivitetsparameter. Vi setter inn for høstingen og løser deretter for X_3 , slik at vi oppnår en open access bestand:

$$(4.1.9) \quad X_3^\infty = \frac{C_3}{P_3 \theta_3}$$

Fra dette ser vi hvordan den betingede funksjonen for den pelagiske bestanden er gitt av prisen:

$$(4.1.10) \quad X_3 = X_3(P_3)$$

Vi antar at innsatsen er avhengig av bestanden til arten som høstes og prisen på den høstede arten. En økt bestand vil gjøre arten lettere å høste, slik at aktørene får mer igjen for innsatsen som legges ned i høstingen, og øker derfor innsatsen. Prisen har en tilsvarende positiv effekt. Øker pris på en art fører dette til at fiskeriene får en økt fortjeneste for hver enhet av innsatsen som legges ned, slik at fiskeriene er tjent med å øke innsatsen. Vi så at de pelagiske fiskeriene tilpasser seg etter en gitt open access bestand der profitten er konkurrert bort. For at høstingen skal gi en slik bestand må det legges inn en innsats. Innsatsen nødvendig for å oppnå en slik null profitt tilpasning er avhengig mengden predasjonen på arten de høster. Ved en stor grad av predasjon, kreves det en lav innsats for at de pelagiske fiskeriene skal oppnå open access løsningen. Tilsvarende vil en større bestand av pelagisk fisk, bytte, muliggjør en høyere fangst og en større innsats for rovfiskfiskeriene. På denne måten tar dermed begge fiskeriene hensyn til den biologiske interaksjonen mellom de to ville artene, når deres innsats defineres.

Modellen

$$(4.1.11) \quad E_2 = E_2(X_3, P_2)$$

$$(4.1.12) \quad E_3 = E_3(X_2, P_3)$$

Innsatsen til rovfiskeriene er positivt avhengig av den pelagiske bestanden og prisen på rovfisk. For de pelagiske fiskeriene så vi tidligere at de tilpasser seg for en gitt bestand av den pelagiske fisken. For at bestanden skal nå en slik mengde, må fiskeriene legge inn en gitt innsats for at open access nivået blir oppfylt. Denne tilpasningen er negativt avhengig av bestanden til rovfisken, og positivt avhengig av den pelagiske fiskeprisen. Dette kan så videre settes inn i høstingsfunksjonene vi tidligere så på, slik at vi ender med høstingen gitt av:

$$(4.1.13) \quad Q_2 = Q_2(X_2, P_2, P_3)$$

$$(4.1.14) \quad Q_3 = Q_3(X_2, P_3)$$

Høstingen av rovfisken er positivt avhengig av rovfiskbestanden og prisene, mens høstingen av pelagisk fisk blir negativt påvirket av rovfiskbestanden og positivt påvirket av den pelagiske prisen.

Den ville rovfiskbestanden er avhengig av byttedyret for å kunne overleve, men byttedyrets bestand blir satt som følge av prisen på arten. Fiskeriene som høster rovfisken har som nevnt en profittmaksimerende tilpasning, med, slik at den eksogent bestemte prisen har en direkte effekt på bestanden.

$$(4.1.15) \quad X_2 = X_2(P_2, P_3)$$

Funksjonen til prisen for pelagisk fisk blir:

$$(4.1.16) \quad P_3 = P_3(X_1, Q_3)$$

Fiskeprisen blir gitt i en likevekt mellom tilbud og etterspørsel etter pelagisk fisk. Høstingen representerer her tilbudet. Siden vi har antatt at oppdrettssektoren er den eneste forbrukeren av pelagisk fisk blir etterspørselen gitt av lakseproduksjonen. Som vi antok innledningsvis definerer mengden konsesjoner (\bar{X}_1) den produserte laksebestanden (X_1), slik at det er konsesjonene som definerer den pelagiske etterspørselen.

$$(4.1.17) \quad X_1 = \bar{X}_1$$

Den nye funksjonen for den pelagiske fiskeprisen blir:

$$(4.1.18) \quad P_3 = P_3(\bar{X}_1, Q_3)$$

Modellen

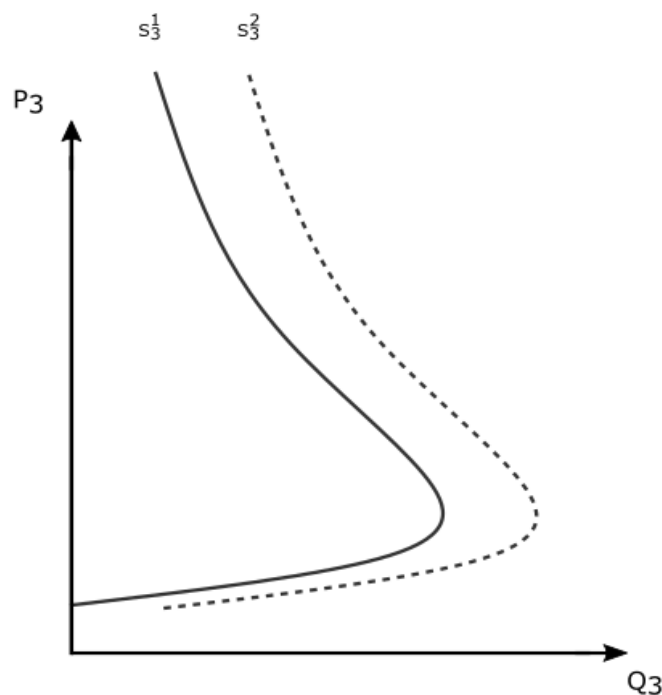
Økte konsesjoner øker etterspørselen som gir en økt pelagisk fiskepris. Tilsvarende gir et økt tilbud av pelagisk fisk, for en gitt etterspørsel, en reduserer pris.

Høstingsfunksjonen av pelagisk fisk (4.1.14) kan omformulere til en tilbudsfunksjon.

$$(4.1.19) \quad S_3 = Q_3(X_2, P_3)$$

Tilbudsfunksjonen skaper en «backward bending supply curve» (se Figur 4.1.1). Prisen på den pelagiske populasjonen må være på et gitt nivå for at det skal være profitabelt for fiskeriene å fiske (skjæringspunktet på P_3 -aksen). Ved en høyere pris vil fiskeriene ha et ønske om å fiske mer, så de øker derfor innsatsen. Økt innsats øker høstingen og dette vedvarer til toppunktet på tilbudskurven er nådd. Dette punktet omtales i litteraturen som «maximum sustainable yield» (msy), hvor høstingen og fiskens naturlige tilvekst er på sitt høyeste. På veien til toppunktet har arten som høstes falt i bestand, men fallet i bestanden har blitt motvirket av en økt tilvekst for arten, slik at høstingen har kunnet fortsette å øke. Når dette punktet er overskredet har tilveksten til den fiskede arten gått forbi sitt maksimum. Ved en fortsatt økende høstingsinnsats faller høstingen, mens prisen øker som følge av det reduserte tilbudet. Fra dette ser vi at den naturlige tilveksten skaper en spesiell formet tilbudskurve, som medfører en litt annen økonomisk forståelse enn den vi normalt tilknytter tilbudsfunksjoner, for ikke fornybare ressurser.

Tilbudet av pelagisk fisk er negativt avhengig av rovfiskbestanden, X_2 . Ved et positivt eksogent sjokk i prisen på rovfisk, P_2 , reduseres X_2 som skifter tilbudskurven ut fra S_3^1 til S_3^2 i Figur 4.1.1.



Figur 4.1.1. En "backward bending supply curve". Kurven har skiftet ut som følge av et positivt tilbudssjokk.

Modellen

Dette skjer siden den pelagiske artens bestand vil ha et økt vekstpotensial som følge av en redusert predasjon. Sjøkket vil kunne fortsette å skifte kurven ut helt til rovfiskebestanden er fisket bort.

For å videre kunne diskutere prisdannelsen, må vi formulere et uttrykk for etterspørselen i systemet. Etterspørselen etter pelagisk fisk er gitt av laksenæringen, på bakgrunn av de behovene sektoren har for å produsere laksemengden gitt av konsesjonene.

Etterspørselen skapes av at lakseprodusentene vil redusere sine kostnader knyttet til fôrforbruket. Minimeringsproblemet sektoren står overfor kan vi formulere som:

$$(4.1.20) \quad \min C_1 = P_3 Q_3 + P_{\bar{P}} \bar{P} \quad \text{u.b.b} \quad \bar{X}_1 = X_1(Q_3, \bar{P})$$

C_1 viser til de totale fôrkostnadene i produksjonen, $P_{\bar{P}}$ er prisen på plantematerialet og \bar{P} er den totale plantemengden benyttet. Kostnadsminimeringen gjøres under bi betingelsen om at den produserte laksemengden skal være lik konsesjonene, og skaper etterspørselsfunksjonen:

$$(4.1.21) \quad D_1 = Q_3(P_3, P_{\bar{P}}, \bar{X}_1)$$

Laksesektorens etterspørsel etter pelagisk fisk er positivt avhengig av konsesjonene, negativt avhengig av prisen på pelagisk fisk og positivt avhengig av prisen på planter. Øker prisen på planter, som er substitutter for fiskemateriale, vil laksenæringen etterspørre mer pelagisk fisk som følge av at den relativt sett har blitt billigere.

Helningen på etterspørselskurven er definert av graden av substitusjon mellom pelagiske fisk og plantemateriale som fôr. Substitusjonselastisiteten gir den prosentvise endringen i etterspørselen etter et gode på bakgrunn av en 1 prosents endring i pris på substituttet. Ved en høy substitusjonselastisitet vil aktører i stor grad substituere seg bort fra en vare hvis prisen på den øker. Ved et høyt innhold av fiskemateriale i fôret vil aktørene lett kunne bytte seg over til planter hvis prisen på pelagisk fisk øker. Ved en liten prisøkning reduseres den etterspurte mengden mye. Etter hvert som store deler av fiskematerialet blir substituert bort vil laksens omega 3-behov ha en sterkere virkning på substitusjonen. Substitusjonen mot planter avtar derfor gradvis i det fiskemengden konvergerer mot en nedre grense for fiskemateriale, gitt av laksens omega 3-behov.

Likevekten i markedet oppnås, som normalt, i krysningen mellom tilbud og etterspørselsfunksjonen. I en situasjon hvor konsesjonene øker, $\bar{X}_1 \uparrow$, vil etterspørselskurven skifte oppover, fra D_1^1 til D_1^2 slik den har gjort i Figur 4.1.2. Den økte produksjonsmuligheten

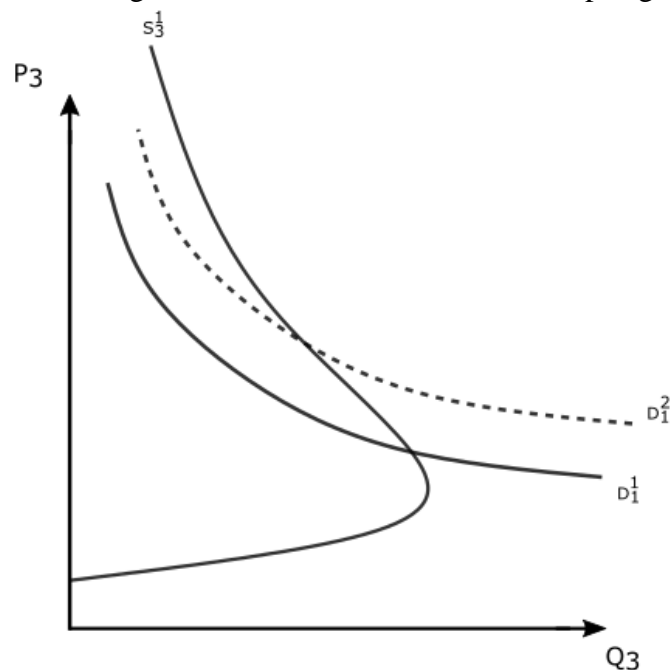
Modellen

for lakseoppdretterne vil bli utnyttet, noe som fører til økt etterspørsel etter pelagisk fisk som fôr. Prisen, P_3 , øker som følge av den økte etterspørselen etter pelagisk, som gir økt fiskeinnsats fra fiskeriene. Den økte innsatsen gir en lavere pelagisk fiskebestand, noe som reduserer den naturlige tilveksten, og videre gir et fall i høstingen.

Ved en prisreduksjon på plantematerialet i fôret, $P_{\bar{P}} \downarrow$, vil etterspørselskurven skifte nedover, som tilsvarer et skift fra D_1^2 til D_1^1 i Figur 4.1.2. Substituttet til fisk blir nå relativt billigere, noe som fører til en økt substitusjon mot denne varen og dermed en lavere etterspørsel etter den pelagiske fisken. Når etterspørselen faller, reduseres prisen, som medfører en lavere innsats i høstingen fra de pelagiske fiskeriene. Denne reduserte innsatsen fører på sikt til at den ville fiskebestanden tar seg opp, noe som gir en høyere høsting. Dette gir den litt spesielle tilpasningen der en prisreduksjon på substituttet til den pelagiske fisken medfører en økt benyttelse av den pelagiske som følge av den unormale tilbudskurven.

Disse tilfellene over gjelder kun for likevekter som er over toppunktet til tilbudskurven, der $X_3 < X_3^{msy}$. Er man i en likevekts situasjon, nærmere origo, hvor tilveksten øker som følge av mer høsting, fremstår resultatet av tilbud og etterspørselssjokk som mer normale. Der gir en økt etterspørsel, økt pris og en høyere høsting.

På samme måte som for pelagisk fisk vil etterspørselen etter plantematerialet være avhengig av innsatsfaktorprisene og konsesjonene. Økte priser vil her ha en motsatt effekt på planteetterspørselen sammenlignet med den vi beskrev under den pelagiske etterspørselen.



Figur 4.1.2. Likevekt mellom tilbud og etterspørsel gir prisenivå og høstet kvantum av pelagisk fisk.

Modellen

$$(4.1.22) \quad D_{1\bar{P}} = D_{1\bar{P}}(\bar{X}_1, P_3, P_{\bar{P}})$$

4.2 Interaksjon og vekst

Vi vil nå formulere en eksplisitt løsning for den stiliserte modellen vi til nå har sett på. For å gjøre dette går vi tilbake til den biologiske interaksjonen, og definerer interaksjonen ved hjelp av to funksjoner:

$$(4.2.1) \quad G_2(X_2, X_3) = a_2X_2 - b_2X_2^2 + d_2X_2X_3$$

$$(4.2.2) \quad G_3(X_2, X_3) = a_3X_3 - b_3X_3^2 - d_3X_2X_3$$

Interaksjonsmodellen tar utgangspunkt i Lotka–Volterra sine vekstfunksjoner for våre bestander av rovfisk og pelagisk.

For enkelhets skyld har vi valgt å se bort fra tidsnotasjon, men i realiteten står det X_{it} hvor t betegner tiden og i står for bestand 1, 2 eller 3.

Parameter d_2 og d_3 definerer størrelsen på interaksjonen mellom de to ville artene, hvor $d_2 \geq 0$, $d_3 \geq 0$. Mer rovfisk gjør at flere pelagiske fisk blir spist, og flere pelagisk fisk gjør at det blir en større mattilgang for rovfisken. Vi antar videre at $d_3 > d_2$. Det vil si at den positive effekten rovfisken har av å spise pelagisk fisk, d_2 , er mindre enn den negative effekten som den påfører den pelagiske, d_3 . Dette kommer av at veksten, som følge av et gitt matinntak, er lavere enn den direkte effekten som påføres den pelagiske arten når de blir spist. Det er dermed et energitap i fordøyelsen som gjør at rovfisken i realiteten konsumerer mer enn det den legger på seg.

Veksten i biomassen til hver fiskeart, i fravær av den andre, er gitt ved $a_2 \geq 0$ og $a_3 > 0$. Parameterne $b_2 \geq 0$ og $b_3 \geq 0$ viser til en avtakende vekstmulighet. Dette kommer av at det er trengselseffekter ved en voksende bestand og at større andeler av maten går til å opprettholde vekten, i stedet for ny vekst, når fisken blir stor.

En svakhet med denne modellen er interaksjonsleddet vårt i (4.2.1) og (4.2.2). Dette leddet setter ingen begrensning på hvor mye pelagisk fisk en enkel rovfisk kan spise. Det hadde derfor vært ønskelig med et interaksjonsledd som tok høyde for dette. En mulighet kan være $X_2 \frac{aX_3}{d+X_2}$. Dette leddet definerer et toppunkt for konsumet, slik at konsumet til rovfisken avtar og konvergerer mot et maksimumsnivå. Et slikt interaksjonsledd i modellen ville vært mer realistisk, men vi har valgt å se bort fra dette da det ikke ville gi oss et entydig svar som kan benyttes i drøftingen.

Modellen

Uten menneskelig høsting er bestandsendringen over tid lik den naturlige tilveksten.

$$(4.2.3) \quad \frac{dX_2}{dt} = \dot{X}_2 = G_2(X_2, X_3)$$

$$(4.2.4) \quad \frac{dX_3}{dt} = \dot{X}_3 = G_3(X_2, X_3)$$

Vi ser fra systemet at det eksisterer fire likevekter som tilfredsstiller $\dot{X}_2 = \dot{X}_3 = 0$: En likevekts løsning hvor begge bestandene blir utryddet, $\tilde{X}_2 = \tilde{X}_3 = 0$. Likevekt 2, hvor populasjon 2 dør ut, men ikke populasjon 3, $\tilde{X}_2 = 0, \tilde{X}_3 = \frac{a_3}{b_3}$. Den tredje likevekten finner vi når populasjon 3 dør ut, men ikke populasjon 2, $\tilde{X}_2 = \frac{a_2}{b_2}, \tilde{X}_3 = 0$. Indre likevektsløsning hvor begge populasjonene lever sammen gir (se appendiks B.2.1 for løsning):

$$(4.2.5) \quad \tilde{X}_2 = \frac{b_3}{b_2 b_3 + d_2 d_3} \left(a_2 + \frac{a_3 d_2}{b_3} \right)$$

$$(4.2.6) \quad \tilde{X}_3 = -\frac{d_3}{b_2 b_3 + d_2 d_3} \left(a_2 - \frac{a_3 b_2}{d_3} \right)$$

Eksistensbetingelsen til den indre løsningen, ser vi fra (4.2.6) at (se appendiks B.2.2 for bevis):

$$(4.2.7) \quad \frac{a_2}{b_2} < \frac{a_3}{d_3}$$

Betingelsen er alltid tilfredsstilt hvis $a_2 = 0$, som er tilfellet i en situasjon hvor rovfisken ikke klarer å overleve uten byttedyret – de pelagiske fiskene. Når parameterne tilfredsstiller betingelse (4.2.7) er den indre likevektsløsningen den stabile likevekten som vedvarer på lang sikt. Holder ikke denne vil den pelagiske fiskebestanden dø ut, som i likevekt 3. I resten av oppgaven antar vi at $a_2 = 0$, slik at betingelse (4.2.7) holder, og likevekten som oppnås er løsningen hvor begge populasjonene sameksisterer. Dette betyr at leddet $a_2 X_2$ i (4.2.1) faller bort. Denne antagelsen forutsetter at det ikke forekommer kannibalisme blant rovfiskene.

Vi introduserer nå høsting, slik at det dynamiske systemet blir som følgende:

$$(4.2.8) \quad \frac{dX_2}{dt} = \dot{X}_2 = G_2(X_2, X_3) - Q_2(X_2, P_2, P_3)$$

$$(4.2.9) \quad \frac{dX_3}{dt} = \dot{X}_3 = G_3(X_2, X_3) - Q_3(X_2, P_3)$$

Vi definerte høstingen som en Schaefer-høstingsfunksjon, med den eksplisitte løsningen:

$$(4.2.10) \quad Q_i = \theta_i E_i X_i$$

Modellen

Produktivitetsparameteren θ_i , også kalt «catchability»-koeffisienten, viser til teknologien som benyttes i høsting og gir dermed effektiviteten til fiskeriene. Kostnadene ved høstingen antar vi kun er avhengig av innsatsen, slik at fiskernes profittfunksjon er som den vi benyttet i 4.1:

$$(4.2.11) \quad \Pi_i = P_i Q_i - C_i E_i, \text{ hvor } i = 2, 3$$

4.2.1 Løsning av modellen

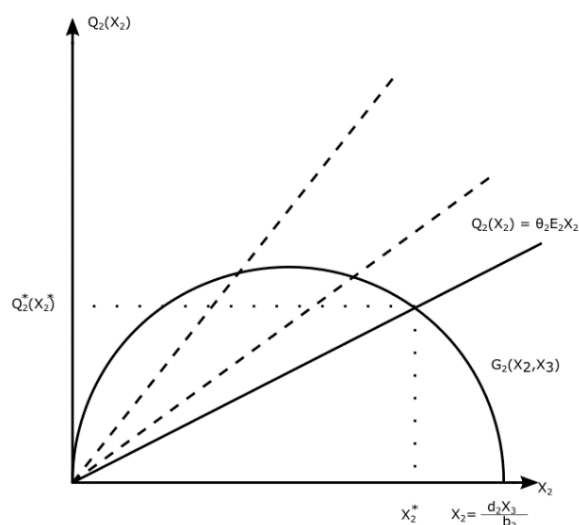
Vi starter med å finne meyløsningene for variablene tilknyttet rovfiskeriene, før vi senere finner open access-tilpasningen til de samme variablene for den pelagiske sektoren (fullstendig løsning i appendiks B.2.3). Likevekten mellom tilvekst og høsting finner vi når bestanden ikke endres over tid, slik at $\dot{X}_2 = 0$.

$$(4.2.12) \quad G_2(X_2, X_3) = Q_2(X_2, P_2, P_3)$$

$$(4.2.13) \quad -b_2 X_2^2 + d_2 X_2 X_3 = \theta_2 E_2 X_2, \text{ hvor } a_2 = 0$$

Vi kan nå benytte funksjonen til å lage en grafisk fremstilling av systemet med høstingen og tilveksten (se Figur 4.2.1).

Vekstfunksjonen er en logistisk funksjon, mens høstingsfunksjonen er lineær. I kryssningen mellom kurvene er høstingen lik den naturlige tilvekst. Øker innsatsen, E_2 , i høstingen stiger helningsparameteret, som vist med de stiplede linjene. I punktet hvor helningsparameteren til



Figur 4.2.1. Vekst- og høstingsfunksjonen for populasjon 2, rovfisken.

Modellen

vekstfunksjonen er lik null er tilveksten for arten på sitt høyeste, altså msy. Fra (4.2.13) finner vi at bestanden i dette punktet er gitt av $X_2 = \frac{d_2 X_3}{2b_2}$.

Den maksimale bærekapasiteten til rovfiskbestanden, i fravær av menneskelig interaksjon, blir $X_2 = \frac{d_2 X_3}{b_2}$. Vi ser at den maksimale bærekapasiteten er lineært avhengig av den pelagiske fiskebestanden, noe som tydelig viser den overfor nevnte svakheten ved interaksjonsleddet vårt. Fra uttrykket til den maksimale bærekapasiteten ser vi videre at maksimumspunktet ville skiftet ut om den pelagiske mengden øker, $X_3 \uparrow$. Det vil si at hele vekstfunksjonen vil skifte ut som følge av bestandsendring. Skiftet ligner det vi diskuterte for tilbudskurven under «backward bending» og gir en økt høsting av rovfisken.

Fra (4.2.13) finner vi en eksplisitt løsning for rovfiskbestanden.

$$(4.2.14) \quad X_2^* = \frac{d_2 X_3 - \theta_2 E_2}{b_2}$$

Denne løsningen setter vi så inn i høstingsfunksjonen.

$$(4.2.15) \quad Q_2^* = \theta_2 E_2 \left(\frac{d_2 X_3 - \theta_2 E_2}{b_2} \right)$$

Løsningen som maksimerer profitten til aktørene i rovfiskemarkedet får vi fra profittfunksjonen for rovfiskeriene:

$$(4.2.16) \quad \Pi_2 = P_2 Q_2 - C_2 E_2$$

Innsatt for Q_2^* gir oss:

$$(4.2.17) \quad \Pi_2 = P_2 \underbrace{\frac{\theta_2 E_2}{b_2} (d_2 X_3 - \theta_2 E_2)}_{TR(E_2)} - \underbrace{C_2 E_2}_{TC(E_2)}$$

TR og TC står for totale inntekter («total revenue») og totale kostnader («total costs»), og begge uttrykkene er avhengig av E_2 . Totale kostnads- og inntektskurven av innsatsen er vist i Figur 4.2.2. Når helningen til TR er lik helningen til TC er det størst forskjell mellom kurvene som gir den største profitten. I dette punktet får vi den optimale innsatsen E_2^{mey} som gir høstingen Q_2^{mey} for rovfiskeriene. Ved en open access løsning hvor TR er lik TC og profitten er lik null, ville innsatsen vært E_2^∞ som er gjeldene for de pelagiske fiskeriene. Tilsvarende får vi Figur 4.2.3, om vi løser (4.2.14) for innsatsen, og setter dette inn i høstingsfunksjonen og deretter profittfunksjonen. I figuren ser vi total kostnads og inntektskurve for bestanden. Her ser vi at

Modellen

det er en speilet sammenheng med den vi fant for innsatsen. En økende innsats i den første figuren tilsvarer derfor en redusert bestand.

Vi finner den optimale innsatsen for rovfiskeriene ved å utnytte profittfunksjonen:

$$(4.2.18) \quad E_2^{mey} = \frac{d_2 X_3}{2\theta_2} - \frac{C_2 b_2}{2P_2 \theta_2^2}$$

Vi setter dette inn i likning (4.2.14) og finner optimal bestand for populasjon 2 under mey:

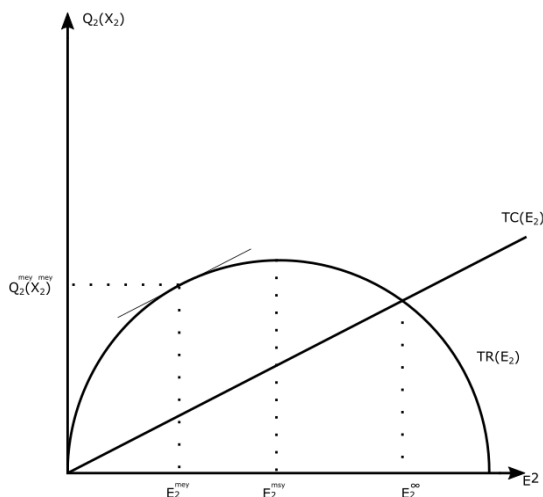
$$(4.2.19) \quad X_2^{mey} = \frac{d_2 X_3}{2b_2} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2}$$

Vi ser fra X_2^{mey} at det aldri vil være effektivt at bestanden faller under halve bærekapasiteten. Dette er fordi det kreves en høy høstingsinnsats når bestanden er lav, noe som medfører høye kostnader, uten at produksjonen og profitten er høy. Høstingen som maksimerer profitten får vi ved å sette inn for optimal innsats og bestand, under mey, i høstingsfunksjonen.

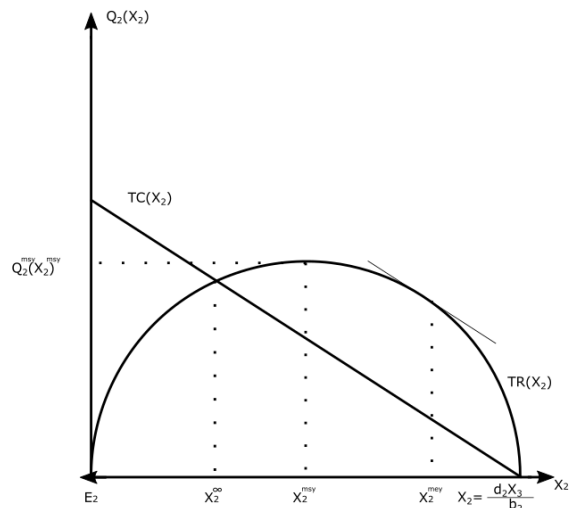
$$(4.2.20) \quad Q_2^{mey} = \theta_2 E_2^{mey} X_2^{mey}$$

som innsatt for E_2^{mey} og X_2^{mey} blir:

$$(4.2.21) \quad Q_2^{mey} = \frac{1}{4} \left(\frac{d_2^2 X_3^2}{b_2} + \frac{d_2 X_3 C_2}{P_2 \theta_2} - \frac{C_2 b_2 d_2 X_3}{P_2 \theta_2 b_2} - \frac{C_2^2 b_2}{P_2^2 \theta_2^2} \right)$$



Figur 4.2.2. "Total revenue"- og "total cost"-kurven av innsats. Når helningen til TR er lik helningen til TC er det størst forskjell mellom kurvene som gir den største profitten. I dette punktet får vi innsatsen E_2^{mey} og høstingen Q_2^{mey} . Tilsvarende ville vi fått open access løsning, E_2^{∞} , hvor TR er lik TC og profitten er lik null.



Figur 4.2.3. "Total revenue"- og "total cost"-kurven av bestanden. Tilsvarende som i figuren for innsatsen får vi mey tilpasning der helningen til TR er lik helningen til TC. I dette punktet får vi bestanden X_2^{mey} og høsting Q_2^{mey} .

Modellen

Vi løser nå for den pelagiske fisken og finner X_3 , E_3 og Q_3 under open access. Løsningene, X_3^∞ og E_3^∞ , som gir null profitt i det pelagiske fiskemarkedet, får vi fra profittfunksjonen. For populasjon 3 er profittfunksjonen følgende:

$$(4.2.22) \quad \Pi_3 = P_3 Q_3 - C_3 E_3 = 0$$

Innsatt for høsting gir optimal innsats og bestand under open access lik:

$$(4.2.23) \quad E_3^\infty = \frac{a_3}{\theta_3} - \frac{d_3 X_2}{\theta_3} - \frac{C_3 b_3}{P_3 \theta_3}$$

$$(4.2.24) \quad X_3^\infty = \frac{C_3}{P_3 \theta_3}$$

Vi ser fra X_3^∞ at rovfiskbestanden ikke inngår direkte, selv om rovfiskbestanden påvirker innsatsmengden i høstingen som gir denne bestanden. Optimal høsting fra høstingsfunksjonen til pelagisk fisk, som innsatt for optimal innsats og bestand under open access, gir:

$$(4.2.25) \quad Q_3^\infty = \frac{C_3 a_3}{P_3 \theta_3} - \frac{d_3 X_2 C_3}{P_3 \theta_3} - \frac{C_3^2 b_3}{P_3^2 \theta_3^2}$$

Denne funksjonen gir oss tilbudskurven vi diskuterte i kapittel 4.1, som er avhengig av P_3 og X_2 .

Vi setter inn for X_3^∞ i løsningene for optimal høsting, innsats og bestand for populasjon 2 under meye, og finner likevektsløsningene:

$$(4.2.26) \quad X_2^{mey} = \frac{d_2}{2b_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2}$$

$$(4.2.27) \quad E_2^{mey} = \frac{d_2}{2\theta_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} - \frac{C_2 b_2}{2P_2 \theta_2^2}$$

$$(4.2.28) \quad Q_2^{mey} = \frac{1}{4} \left(\frac{d_2^2}{b_2} \left(\frac{C_3}{P_3 \theta_3} \right)^2 + \frac{d_2 C_2}{P_2 \theta_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} - \frac{C_2 b_2 d_2}{P_2 \theta_2 b_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} - \frac{C_2^2 b_2}{P_2^2 \theta_2^2} \right)$$

$$(4.2.29) \quad E_3^\infty = \frac{a_3}{\theta_3} - \frac{d_3}{\theta_3} \left(\frac{d_2}{2b_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2} \right) - \frac{C_3 b_3}{P_3 \theta_3^2}$$

$$(4.2.30) \quad Q_3^\infty = \frac{C_3 a_3}{P_3 \theta_3} - \frac{d_3 C_3}{P_3 \theta_3} \left(\frac{d_2}{2b_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2} \right) - \frac{C_3^2 b_3}{P_3^2 \theta_3^2}$$

På bakgrunn av det vi drøftet i kapittel 4.1 ser vi at en økt lakseproduksjon, som følge av økte konsesjoner, gir en høyere pris på pelagisk fisk, som igjen påvirker likevektssystemet vårt.

$\frac{\partial E_3^\infty}{\partial P_3} > 0$ og $\frac{\partial X_3^\infty}{\partial P_3} < 0$, økt pris på pelagisk fisk øker innsatsen i pelagisk sektor, men reduserer

Modellen

den pelagiske fiskebestanden. $\frac{\partial Q_3^\infty}{\partial P_3} \geq 0$, økt pris øker eller reduserer høstingen av pelagisk fisk avhengig av den naturlige tilveksten. Frem til $P_3^{msy} = \frac{2b_3c_3}{\theta_3(a_3-d_3X_2)}$, vil tilveksten øke, slik at en prisvekst gir økt høsting. Når $P_3 > P_3^{msy}$ vil den naturlige tilveksten synke, noe som fører til at høstingen faller med en økende pris. $\frac{\partial Q_2^{mey}}{\partial P_3} < 0$, $\frac{\partial E_2^{mey}}{\partial P_3} < 0$ og $\frac{\partial x_2^{mey}}{\partial P_3} < 0$, økt pelagisk fiskepris reduserer høsting, innsats og fiskebestand i rovfisksektoren. En høyere pris på pelagisk fisk gjør at det høstes mer av de pelagiske fiskeriene. Dette reduserer mattilgangen til rovfisken, som derfor reduserer innsatsen og høstingen i rovfisksektoren.

Vi har til nå betraktet en betinget etterspørselsfunksjon. Det videre steget i prosessen ville vært å formulere en produktfunksjon som vi kunne benyttet i kostnadsminimeringsproblemet til laksesektoren. Fra dette ville fått en etterspørselsfunksjon etter pelagisk fisk. Videre kunne vi satt tilbud lik etterspørsel og funnet markedsprisen på den pelagiske fisken. Produktfunksjoner som vi kunne benyttet er Leontief og "constant elasticity of substitution" (CES). De vil på hver sin måte forklart hvordan substitusjonen mellom innsatsfaktorene ville foregått.

Leontief produktfunksjon pålegger en streng restriksjon på substitusjonen mellom de to innsatsfaktorene. Det er nødvendig med en gitt mengde av begge materialene for å produsere en gitt mengde oppdrettslaks. Dette holder for fiskemengden i fôret siden laksen trenger en gitt mengde omega 3 for å vokse. Tilsvarende finnes det ingen nedre grense for plantemateriale da laksen er en predator i naturlig tilstand som primært livnærer seg av fisk. Denne faktoren ser vi på som såpass viktig slik at vi har utelukket en slik produktformulering.

CES-produktfunksjon viser til en konstant substitusjonselastisitet mellom de to innsatsfaktorene og er bedre tilnærming i forhold til intuisjonen vår om mekanismene bak etterspørselskurven. Utfordringene med denne er at vi ikke finner det troverdig med konstant substitusjonselastisitet over alle nivåene av innsatsfaktorene i produksjonen. Vi ser fortsatt på funksjonen som såpass god at om man skulle gått videre inn på den analytiske løsningen av modellen ville det vært naturlig å inkludere denne funksjonen.

4.3 Nye likevekter

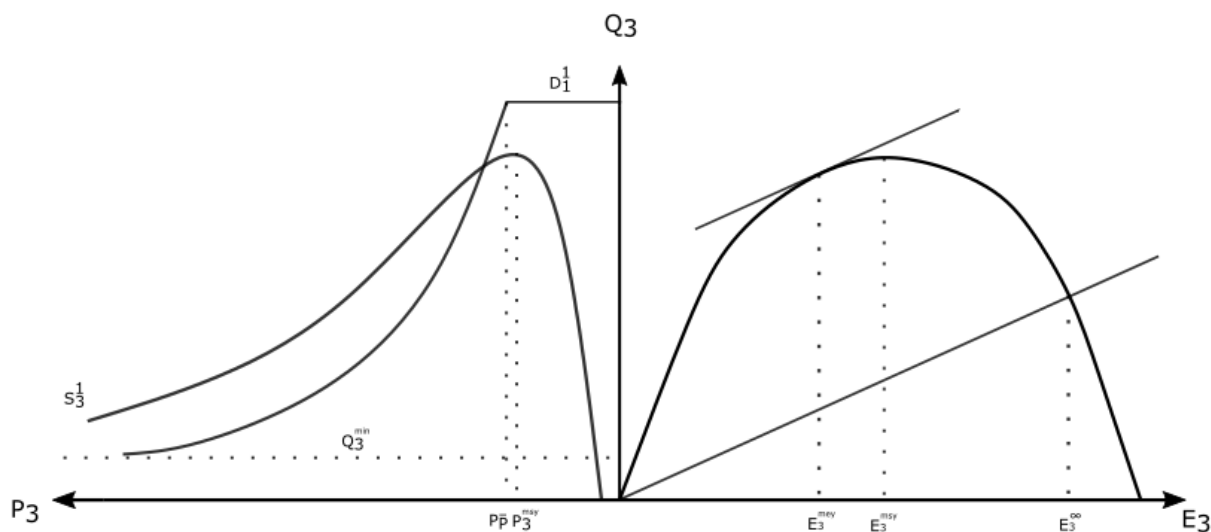
Vi skal nå sette sammen forståelsen vi har fått fra kapittel 4.1 og 4.2 ved å sette sammen grafene slik at vi lettere kan drøfte samspillet mellom høsting og tilvekst med likevekten mellom tilbudet og etterspørselen. Vi beholder forståelsen fra den betingede etterspørselsfunksjonen og løser den ikke eksplisitt. Dette gjør vi for å vise en tilnærming av virkeligheten som vi ikke

Modellen

klarer å godt representere gjennom spesifikke etterspørselsfunksjoner. Vi har derimot løst tilbudskurven for å bevise den spesielle formen som vi diskuterte i 4.1. Vi løser på antakelsen om at lakseprodusentene alltid vil kunne produsere mengden gitt av konsesjonene, for å ta høyde for at en potensielt høy prisvekst og et for lavt tilbud av pelagisk fisk vil påvirke produksjonen negativt.

Helningen på etterspørselskurven, D_1^1 , i Figur 4.3.1 er gitt av graden av substitusjon som vi diskuterte tidligere. Vi har nå snudd grafen vi så på tidligere slik P_3 er på x- og Q_3 er på y-aksen. Ved en liten substitusjonsmulighet vil kurven flate ut, gjennom at produksjonen i større grad er låst til sine innsatsfaktorer, og med en stor substitusjonsmulighet vil kurven være bratt. Vi antar at oppdrettssektoren bare benytter seg av fiskeprodukter i fôret når prisen pelagisk fisk (P_3) er lavere enn prisen på planter ($P_{\bar{P}}$) slik at kurven er flat i starten. Når prisen overgår den eksogent bestemte planteprisen begynner næringen å substituere seg over mot mer plantematerialet. En bevegelse ned etterspørselskurven vil derfor være ekvivalent med en økt substitusjon fra fisk til planter, siden etterspørselskurven gjelder for en gitt lakseproduksjon. Som beskrevet i kapittel 3, vedligger det en nedre grense for hvor lite pelagisk fisk fôret kan inneholde. Laksens omega 3-behov, har satt begrensninger, siden det ikke finnes gode nok plantesubstitutter som kan erstatte fiskeoljen. Dette gjør at etterspørselskurven faller og til slutt konvergerer mot dette minimumspunktet.

Tilbudskurven, S_1^1 , er skapt fra høstingsfunksjonen (4.2.25). Funksjonen viser hvordan høstingen av den pelagiske fisken er avhengig av prisen og skaper grunnlaget for tilbudskurven i systemet. Initialt ser vi for oss at begge systemene starter i origo,



Figur 4.3.1. Tilbuds og etterspørselskurve for pelagisk fisk med tilhørende total inntekts- og kostnadskurve for pelagiske fiskerier.

Modellen

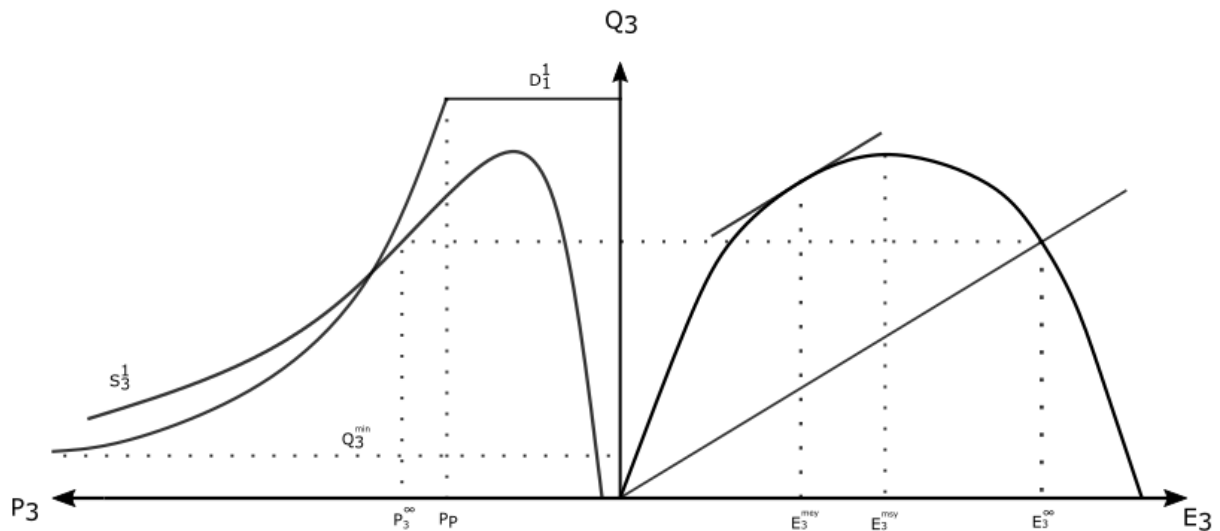
deretter beveger de seg simultant utover i koordinatsystemene. Idet prisen når prisnivået $P_3 = \frac{b_3 c_3}{\theta_3(a_3 - d_3 X_2)}$ er det profitabelt for fiskeriene å fiske (se appendiks B.2.4 for utregning). Innsatsen vil øke ettersom prisen på fisken stiger, og siden bestanden til arten fortsatt er relativt høy fører dette til økt høsting. Den fortsatt stigende innsatsmengden lagt inn av de pelagiske fiskeriene fører til et fall i bestanden. Denne fallende pelagiske fiskebestanden blir motvirket av en økt tilvekst fra fiskearten, som følge av mindre trengselsbegrensninger.

Selv om veksten i høstingen avtar gradvis med den fallende bestanden, blir fallet i veksten redusert av den økte tilveksten. Når punktet hvor innsatsnivået E_3^{msy} og prisen $P_3^{msy} = \frac{2b_3 c_3}{\theta_3(a_3 - d_3 X_2)}$ er nådd, vil en redusert bestand føre til en lavere naturlig tilvekst. Det betyr at økt innsats forbi dette punktet medfører en lavere aggregert høsting. Fra P_3^{msy} ser vi at den naturlige tilveksten, gitt av a_3 , må være større enn den negative predasjonseffekten, $d_3 X_2$, for at det skal kunne være pelagisk fisk å høste. Fra toppunktet fortsetter innsatsen og prisen å øke mens høstingen faller, idet modellen går mot sin første likevekt. Når den første likevekten blir oppnådd, vil bevegelsen i systemet falle til ro. Dette gjelder enten når profitten blant fiskeriene faller bort, idet høstingsinnsatsen når punktet for E_3^∞ , eller når tilbudet er lik etterspørselen. Vi skal nå se hva som skjer når systemet når en likevekt, og hvordan markedet blir påvirket avhengig av hvilken likevekt som blir oppnådd først.

4.3.1 Likevekt i produksjonen

Likevekt i produksjonen stopper markedenes utvikling ved innsats E_3^∞ , som vist i Figur 4.3.2. Fiskeriene vil i en slik tilpasning ikke tilby en stor nok pelagisk fiskemengde til å dekke laksenæringens produksjon, slik at etterspørselskurven ligger utenfor likevektspunktet. Likevekten representerer en høsting hvor kostnadene ved å legge inn mer innsats ved fiske er større enn betalingen de mottar for hver ekstra fisk de produserer. For at laksenæringen skal kunne oppnå ønsket produksjon må det skje en endring, som for eksempel en teknologisk forbedring. Endringen må medføre at lakseprodusentene reduserer substitusjonskostnadene, eller finner nye og billigere substitutter. Slike nye substitutter vil kunne være arter som krill eller planteplankton, som ble diskutert i kapittel 3. Dette vil gi en brattere etterspørselskurven, slik at likevekt mellom tilbud og etterspørsel igjen vil kunne oppfylles.

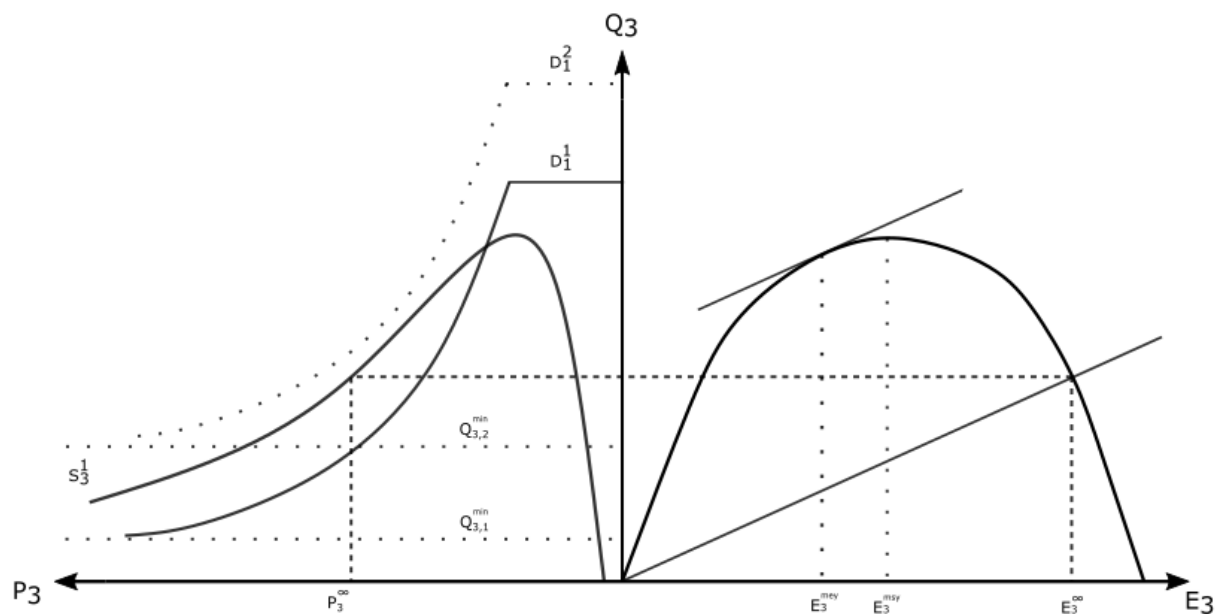
Et annet tilfelle hvor etterspørselen er større enn tilbudet, kan oppstå fra en opprinnelig likevekt mellom tilbud og etterspørsel, når konsesjonene øker som vist av Figur 4.3.3. Vi får et eksogent sjokk i etterspørselen når konsesjonene øker slik at etterspørselskurven skifter opp. Den totale



Figur 4.3.2. Likevekt i produksjonen oppnådd før likevekt mellom tilbud og etterspørsel. Tilbud av fisk for lavt til å dekke etterspørselen for gitt pris, P_3^∞ .

mengden fisk som potensielt kan produseres øker, noe som løfter minimumsmengden, fra $Q_{3,1}^{min}$ til $Q_{3,2}^{min}$, og etterspørselen etter pelagisk fisk, fra D_1^1 til D_1^2 . I figuren ser vi at om konsesjonsøkningen er meget stor vil det ikke være mulig med en likevekt mellom tilbud og etterspørsel. Dette gjør at den tilbudte mengden pelagisk fisk blir definert av fiskerienes profitt, gjennom E_3^∞ . I en slik situasjon vil det ikke være mulig for lakseoppdretterne å produsere det konsesjonene gir mulighet for, slik at en substitusjonsforbedring igjen er nødvendig.

Alternativt vil en økt høsting av de ville rovfiskartene skifte tilbudskurven av pelagisk fisk ut, som vi så i kapittel 4.1. En forbedring av mattilbudet vil kunne oppnås om økt høsting av rovfisk reduserer rovfiskbestanden til en msy-løsning. I sammenligninger mellom torsk og laks



Figur 4.3.3. Skift i etterspørselskurve som følge av økte konsesjoner. Fra opprinnelig likevekt mellom tilbud og etterspørsel, skifter etterspørselskurven opp og systemets nye likevekt, E_3^{msy} og P_3^{msy} , er gitt av fiskerinæringen.

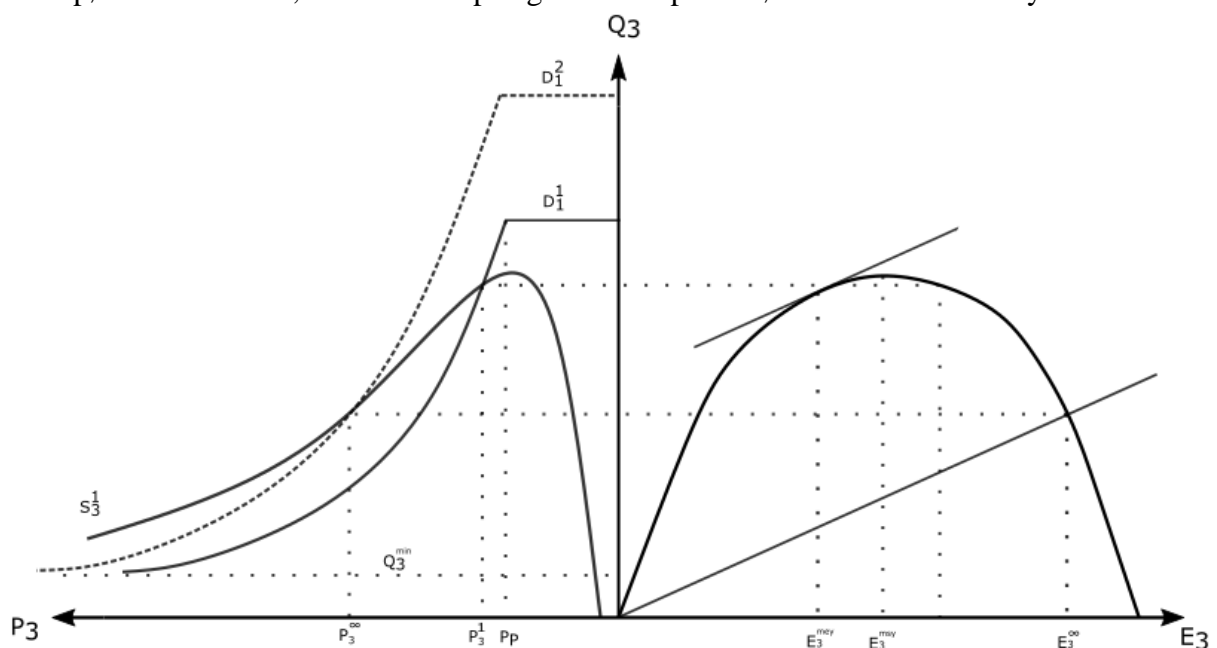
Modellen

forventer man at torsken konsumerer fem ganger så mye fisk som laksen, på bakgrunn av blant annet plantematerialene som benyttes i fôret (Torrissen 2011). Av rene matproduktive hensyn kan man derfor tenke at produksjonen av laks, selv om den kommer på bekostning av ville fiskearter, er gunstig. I en verden med matmangel vil reduserte ville rovfiskbestander muliggjøre en større produksjon i oppdrettssektoren. En slik forbedring vil kunne øke produksjonen av alle de observerte fiskeartene. Høstingspotensialet av rovfisken øker med den økte tilveksten. Den pelagiske arten vil i mindre grad bli påvirket av predasjon, noe som både øker bestanden og tilveksten. Endringen påført den pelagiske fisken, vil direkte øke tilbudet til laksenæringen, slik at også de vil kunne produsere mer. Den negative endringen av en slik situasjon vil kun påvirke rovfiskfiskeriene, som vil oppleve en redusert profitt som følge av høstingsendringen.

4.3.2 Likevekt mellom tilbud og etterspørsel

Vi ser for oss et tilfelle hvor det har oppstått en likevekt mellom tilbud og etterspørsel etter pelagisk fisk, $S_3^1 = D_1^1$, som vist i Figur 4.3.4. Dette betyr at den pelagiske fiskesektoren ennå ikke har oppnådd open access innsatsen E_3^∞ , slik at fiskeriene driver med profitt. I denne situasjon ønsker flere pelagiske fiskere å tiltre markedet, men som følge av den begrensede etterspørselen, fra laksesektoren, holdes de ekstra aktørene utenfor markedet.

I en situasjon hvor aktører ønsker å entre markedet, som tilsvarer en økt innsats, vil tilbyderne prøver å finne nye markeder å selge produktene sine i. En større kundebase vil skifte etterspørselskurven ut, slik at den pelagiske fiskeprisen øker frem til den nye likevekt er



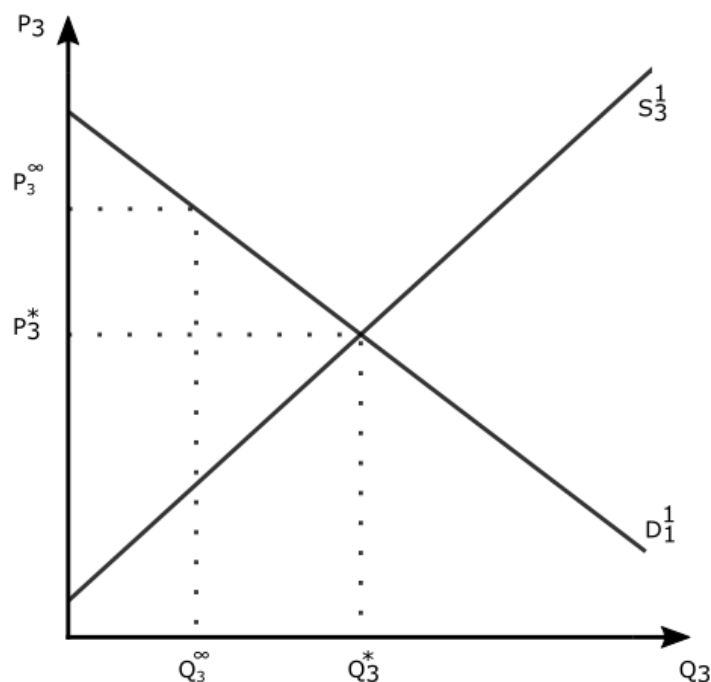
Figur 4.3.4. Skift i etterspørselskurve som følge av inkludering av menneskelig konsum.

Modellen

oppnådd, $S_3^1 = D_1^2$. Dermed vil laksenæringen måtte forholde seg til en høyere pris enn det de opprinnelige gjorde, slik at deler av fiskeinnholdet i fôret blir byttet ut med plantebaserte materialer. Den nye etterspørselskurven, D_1^2 , antar vi nå også inneholder det nye markedet, menneskelig konsum, men forventer at betalingsviljen til lakseprodusentene er størst. Siden pelagiskfisk er betraktet som mindreverdig, vil de nye aktørene slutte å etterspørre fisken om prisen blir for høy, og det påvirker derfor ikke minimumsnivået for etterspørselen av pelagisk fisk. Dette gjør at helningen på etterspørselskurven er brattere enn den var tidligere.

Denne fremstillingen gir et skjævt inntrykk av hvordan etterspørselen faktisk har utviklet seg. Vi vet at de pelagiske fiskeartene opprinnelig ble konsumert av mennesker, før oppdrettssektoren inntok markedet.

Fra Figur 4.3.5 ser vi alternativkostnaden ved at pelagisk fisk høstes og benyttes som fôr i oppdrettet. De matproduserende aktørene opplever en høyere pris og et lavere kvantum som følge av den høye etterspørselen fra oppdrettsnæringen. Dette medfører at en lavere mengde pelagisk fisk kan konsumeres direkte av mennesker, altså et lavere globalt mattilbud. Uten laksesektoren ville prisen på den pelagiske fisken vært lavere og høstingen større, gitt av P_3^* og Q_3^* .



Figur 4.3.5. Tilbud og etterspørsel etter pelagisk fisk i et enkelt markedskryss for menneskelig konsum. Her er tilbudskurven forenklet siden intuisjonen blir den samme.

Modellen

4.4 Den regnskapsmessige formuleringen

Vi har laget en modell hvor vi startet med å introdusere ulike mekanismer i næringene for å gi en grunnforståelse vi kunne bygge videre på. Etter det så vi på interaksjonen mellom de ville fiskeartene, fiskeriene og oppdrettsnæringen. De eksplisitte løsningene og markedslikevekten i 4.1 satte vi sammen i en grafisk modell, slik at flere enn de opprinnelige faktorene kunne drøftes. Denne modellen har vi bygget opp for å drøfte mekanismene i markedet og vise hvordan de det eksogene tilbudet av oppdrettslaks påvirker de pelagiske fiskeprisene. Vi vil nå gå videre med en regnskapsmessig formulering av laksenæringens fôrbehov for å kunne beregne laksens estimerte konsum av pelagisk fisk og plantemateriale.

Siden vi ikke ser på en kontinuerlig utvikling for oppdrettssektoren, men i stedet en nivåbestemt produksjon, kan vi benytte den eksogent bestemte laksemengden til å finne ut hvor mye fisk og planter som går med i tørrfôret. Den regnskapsmessige likningen vår for oppdrettslaks blir:

$$(4.4.1) \quad X_1 = (F\hat{r}_{tot})\mu$$

μ er den inverse FCR-koeffisienten som vil si at $\frac{1}{FCR} = \mu$. Vi husker at FCR var fôringsfaktoren som forklarte hvor mye tørrfôr en fisk trengte for å vokse ett kilo. Funksjonen forteller oss at økte konsesjoner, som øker lakseproduksjonen, medfører et økt forbruk av tørrfôr. Som vi nå vet består tørrfôret av primært to deler, fiskebaserte produkter og plantemateriale. Et uttrykk for tørrfôr kan derfor skrives som:

$$(4.4.2) \quad F\hat{r}_{tot} = F + \bar{P}$$

F står for fiskebaserte produkter i tørrfôret, mens \bar{P} står for det plantebaserte råstoffet. For å formulere disse innsatsfaktorene som andeler av tørrfôret kan vi skrive:

$$(4.4.3) \quad \gamma F\hat{r}_{tot} = F \quad \text{og} \quad (1 - \gamma)F\hat{r}_{tot} = \bar{P}$$

γ viser andelen av fiskeprodukter i fôret, og består av både fiskeolje og fiskemel. $(1 - \gamma)$ er andelen fôr som ikke kommer fra fisk hvor størstedelen kommer fra plantematerialet. Soya og raps er de dominerende artene, i tillegg til noe solsikke, mais og hvete. I tillegg inneholder også \bar{P} en andel av andre innsatsfaktorer som mineraler, vitaminer og lignende, men i mindre grad. Vi har antatt at γ har en nedre grense, en minimumsandel, for fiskemateriale gitt av laksens omega 3-behov. Hvis fiskeandelen er lavere enn dette nivået vil kvaliteten og veksten til fisken falle. For nå antar vi for enkelhetsskyld at de fiskebaserte produktene i fôret bare kommer fra pelagisk fisk. Dette gjør at:

Modellen

$$(4.4.4) \quad F = Q_3^\infty$$

Dette gir følgende funksjon for oppdrettslaks:

$$(4.4.5) \quad X_1 = (Q_3^\infty + \bar{P})\mu.$$

Benevnelsen for både laksemengden produsert og de to faktorene i tørrfôret er gitt i tonn, slik at den inverse fôringsfaktoren er en ren multiplikator.

En annen viktig faktor som påvirker lakseproduksjonen er dødelighet. Vi omgjør (4.4.5) til:

$$(4.4.6) \quad X_1 = (Q_3^\infty + \bar{P})\mu - M_1(\hat{X}_1)$$

Den totale bestanden av laks er nå avhengig av veksten som følge av mattilførselen, fratrukket dødeligheten, M_1 , som oppstår i merdene. Vi skiller dødeligheten i to deler, der den ene delen er dødelighet som følge av luserensing, og den andre delen er som følge av naturlig dødelighet i tillegg til rømming av laks. Rømming fører ikke til at laksen dør, men at bestanden i merden reduseres. For profittens del vil effekten av rømming og dødsfall være forskjellig, siden rømmingen kan medføre bøter. Vi ser derimot bort fra dette siden vi ikke drøfter profitten til industrien. $M_1(\hat{X}_1)$ -variabelen representerer totalt svinn i lakseproduksjonen, men vil videre bli omtalt som dødelighet da dette er den største faktoren. Vi skriver nå total dødelighet som:

$$(4.4.7) \quad M_1(\hat{X}_1) = L\hat{X}_1 + A\hat{X}_1 = M\hat{X}_1$$

Andelene, L og A , peker på henholdsvis død som følge av luserensing og andre svinn eller dødsårsaker. \hat{X}_1 er bestanden uten dødelighet, slik at for å vise total dødelighet som prosentandel av total bestand benytter vi M . Fra tidligere definerte vi at $X_1 = \bar{X}_1$, noe som nå bare vil være et mål for næringen siden $\hat{X}_1 = \bar{X}_1$ er gjeldende. Vi vil videre ved hjelp av disse funksjonene beregne den norske laksenæringens estimerte fiske- og plante forbruk for i dag og i fremtiden.

5 Estimater og predikasjoner

I dette kapittelet vil vi utføre beregninger for å kartlegge innsatsfaktorbruken til den norske laksesektoren, hvor vi primært tar utgangspunkt i soya og pelagisk fisk. Vi starter med å betrakte dagens verdier på lakseproduksjon, fôringsfaktor, andel plante- og fiskemateriale i tørrfôret, laksedødelighet, pelagisk fettinnhold og utnyttelsesgrad av fiskeolje, til å beregne laksesektorens estimerte fôrfiskeforbruk. Etter dette undersøker vi effektene av en produksjonsøkning ved å ta i betraktning 2050-utsiktene i rapporten til SINTEF. Herfra vil vi se på hvordan laksedødelighet og fettinnhold i den pelagiske fisken påvirker det fremtidige behovet for pelagisk fisk. Vi vil også beregne plantemengdene som trengs i fôret, spesielt soya, for å kunne si noe om det totale avtrykket fra laksenæringen. Til slutt går vi inn på noen substitutter som kan være med på å avløse det store behovet for de utnyttede ressursene.

5.1 Dagens verdier

For å utføre beregningene våre er det en rekke usikkerheter vi er nødt til å forholde oss til. Det er usikkerhet som har oppstått gjennom store avvik i informasjonen rapportert fra næringen, av forskjellige institusjoner og bedrifter. For å komme forbi dette problemet har vi vært nødt til å basere tallene våre på de kildene vi har funnet mest troverdige, og i deler av utregningene har vi benyttet flere ulike estimater for å approksimere virkeligheten – i den grad det har vært mulig.

Beregningene av det totale fiskekonsumet til oppdrettssektoren har vi basert på fiskoljeforbruket rapportert av Biomar. FCR-verdiene er hentet fra Nofima, og den totale produksjonen av norsk oppdrettslaks er hentet fra SSB. De estimerte verdiene av fremtidig norsk oppdrettslaks er beregnet ut fra vekstutsiktene til SINTEF sin rapport «Verdiskapning basert på produktive hav i 2050». Hvis det er feil og avvik i tallene rapportert fra disse aktørene, vil dette forplante seg videre i våre matematiske utregninger. Siden vi oftest gjenfinner disse verdiene i litteraturen og diverse fagrapporter, setter vi lit til deres troverdighet.

Biomar rapporterer at det totale innholdet av fiskeolje i deres produkter ligger på cirka 10 %, mens fiskemel utgjør om lag 16 % (BioMar Group, 2016). Fiskeoljeproduksjonen krever en større mengde fisk enn fiskemel, og etter at fiskeoljen er utvunnet vil restene bli omgjort til fiskemel (Skretting, s.a.). Vi antar at mengden fiskemel fra oljeutvinningen er stor nok til å dekke laksens behov, slik at det totale forbruket av pelagisk fisk, nødvendig i oljeproduksjon, tilsvarer det totale forbruket til næringen. Denne metoden har blitt kritisert av aktører som «The Marine Ingredients Organisation» (IFFO), som mener at overskuddet av fiskemel, fra fiskeoljeproduksjonen, må trekkes fra den samlede FIFO-koeffisienten, noe som gir lavere

Estimater og predikasjoner

verdi (The Marine Ingredients Organisation [IFFO], 2017). De mener at de forskjellige oppdrettssektorene som produserer ulike arter, kan bytte og selge fiskeolje og fiskemel mellom seg, alt etter artens og fôrproduksjonen behov. IFFO vil derfor gi bedre estimater på det aggregerte fiskeforbruket ved en global produksjon, men isolert sett vil de ikke få med de faktiske behovene til hver enkelt produsent. Vi mener at IFFOs FIFO-beregninger gir et skjevt inntrykk av laksens behov, siden det er mengden av den viktigste innsatsfaktoren, fôrfisk, som definerer hvor stor lakseproduksjonen kan bli tatt i betraktning dagens nødvendige fiskemengdeandel. Vi ser derfor fullstendig bort fra IFFO sine tall i våre senere beregninger, av dagens og fremtidig fiskeforbruk, fra den norske oppdrettssektoren. Vi utelukker også at bytting av varer mellom de forskjellige oppdrettsaktørene finner sted og vil forbedre FIFO-koeffisienten til laksenæringen.

I rapporten «Sustainability report 2016» rapporterer BioMar Group (2016) at de benytter ulike arter i produksjonen av fiskemel og fiskeolje. Dette gir en indikasjon på at den totale fiskemelmengden ikke fullstendig utnyttes fra restene i oljeproduksjonen. Om dette er tilfellet vil det totale pelagiske fiskeforbruket være større enn det vi antar i modellen. Vår løsning vil derfor gi et resultat som ligger mellom den predikerte verdien til IFFO og det mest ekstreme tilfellet hvor begge deler inkluderes uten noen form for avrunding.

En analyse fra Nofima viser til en FCR-koeffisient på 1.168 og en dødelighet på cirka 20 % (Iversen et al., 2017). Den totale produksjonen av oppdrettslaks i 2016, målt i salg av slaktet fisk, var på 1 233 619 tonn, rapporterer SSB (2017b). Her er det allerede tatt i betraktning et svinn på rundt 20 %. Ved hjelp av disse verdiene har vi laget en oversikt over hvor mye pelagisk fisk som går med i dagens, og fremtidens, lakseproduksjon, som følge av dødelighet og at fettinnholdet til fiskematerialet benyttes i oljeproduksjonen. Grunnen til at vi har sett på forskjellige verdier er at fettinnholdet i pelagisk fisk kan variere mellom artene, og innad i artene som følge av årstidene.

Fiskeleveren er den mest fettinnholdsrike kroppsdelen på fisken, og effektiviteten av fiskeoljeproduksjon er i stor grad avhengig av rikelig levertilgang. Anslaget på hvor høyt det totale fettinnholdet i fiskematerialet benyttet i oljeproduksjonen er, avhenger derfor av hvilken type fisk som benyttes, når den er høstet, og om det er benyttet eventuelt avkapp i produksjonen. Normalt har hvitfisken et lavt fettinnhold i filetene, og flere av artene er nede i 1-2 % fettinnhold. Andre pelagiske arter som sild og makrell har derimot et høyt fettinnhold. Makrell

Estimater og predikasjoner

kan inneholde opp mot 25-30 % på sensommeren og inneholder dermed store mengder omega 3-fettsyrer (Norges sjømatråd/Sjømat Norge, 2011).

En faktor som har hatt stort utslag på tilbudet av fiskebaserte produkter til oppdrettsnæringen, er den økte benyttelsen av avkapp i fôrproduksjonen. Dette har medført at store mengder avfall fra matproduksjonen har fått et nytt bruksområde, som har medført et økt tilbud av fisk til oppdrettssektoren. Dette avkappet hentes fra matproduksjonen for begge klassifikasjonene av fisk, pelagisk og rovfisk. Som beskrevet i kapittel 3 er næringsinnholdet i denne typen fôr litt fattigere enn det som kommer fra hele fisk, slik at det ikke fullstendig vil kunne erstatte resten av fisken. Kombinasjonen av avkappet, oljen og ordinært fiskemel er derimot effektivt, og reduserer det totale forbruket av fisk. BioMar Group rapporterer at det benyttes 44 % avkapp i deres produksjon av fiskeolje, men at levermengden ikke er betydelig høy (personlig kommunikasjon per epost, 30. april 2018). Den resterende andelen kommer fra forskjellige pelagiske arter hvor det samlede gjennomsnittlige fettinnholdet, inkludert avkapp, er på 8 %.

Vi omformulerer likning (4.4.6) for finne det totale forbruket av pelagisk fisk, og den tilhørende FIFO-koeffisienten, med dagens og fremtidig nivå på lakseproduksjon (resultater i Tabell 5.1.1). Vi benytter de ovenfor nevnte parameterne og verdiene, og skaper estimater basert på ulike fettinnholdnivå for pelagisk fisk og dødelighetsrater i lakseproduksjonen. For å forenkle utregningene ser vi for oss totalt fôrbruk i stedet for å dele det opp i to grupper (se B.3.1 for fullstendig løsning):

$$(5.1.1) \quad X_1 = (F\hat{r}_{tot})\mu - M_1(\hat{X}_1)$$

Siden vi kun er ute etter det totale fiskeoljeforbruket kan vi forenkle bort de resterende delene av fôret, og dermed kun regne det totale pelagiske forbruket på bakgrunn av dette:

$$(5.1.2) \quad \frac{X_1}{\mu(1-M)} \frac{OA}{FI} = FISK_{tot}$$

$FISK_{tot}$ er den totale mengden fisk benyttet, OA viser til andelen olje i fôret og FI er fettinnholdet i fisken oljen er uthentet fra. Ifølge Biomar benytter de som nevnt 44 % avkapp i produksjonen av olje. Dette avkappet består av 15 % ikke-pelagiske arter, mens det resterende innholdet som ikke stammer fra avkapp er satt sammen av forskjellige pelagiske arter:

$$(5.1.3) \quad \frac{X_1}{\mu(1-M)} \frac{OA}{FI} * (1 - 0,066) = PE$$

Estimater og predikasjoner

Fra dette har vi nå en funksjon for pelagisk fiskemengde (PE), som vi kan utnytte til å estimere totalt forbruk på bakgrunn av varierende fettinnhold og dødelighet. Resultatene fra dette kan vi videre benytte til å anslå de tilhørende FIFO-koeffisientene.

Fettinnhold:	20 % dødelighet:		10 % dødelighet:		Uten dødelighet:	
	Mengde pelagisk fisk:	FIFO:	Mengde pelagisk fisk:	FIFO:	Mengde pelagisk fisk:	FIFO:
25 %	672885	0,58	598120	0,52	538308	0,47
20 %	841106	0,73	747650	0,65	672885	0,58
15 %	1121475	0,97	996866	0,87	897180	0,78
12 %	1401844	1,22	1246083	1,08	1121475	0,97
10 %	1682212	1,46	1495300	1,30	1345770	1,17
8 %	2102765	1,83	1869125	1,62	1682212	1,46

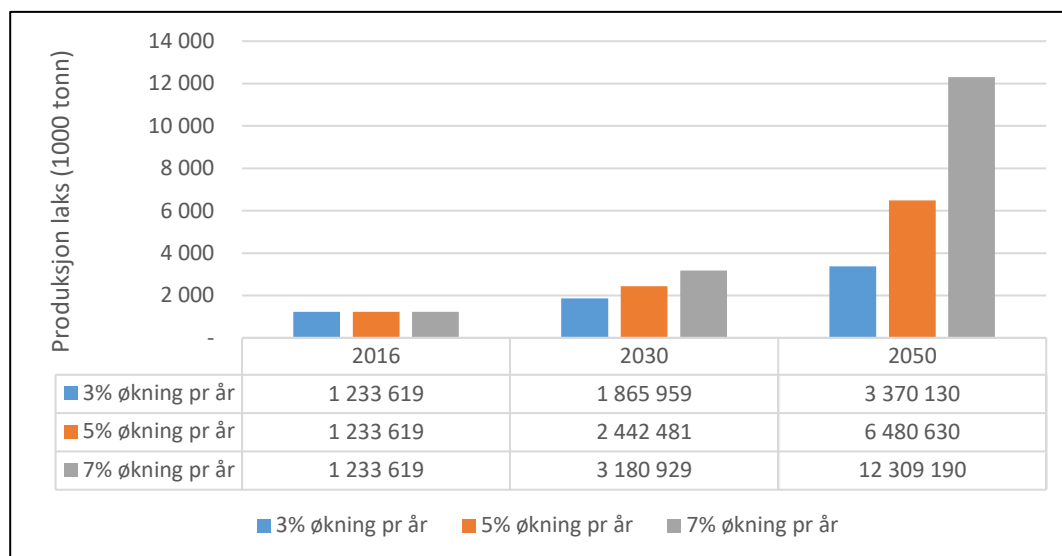
Tabell 5.1.1. Mengde pelagisk fisk og FIFO koeffisient for all fisk, benyttet i produksjon, ved en gitt dødelighet blant laksebestanden og fettinnhold i fiskematerialet benyttet til oljeproduksjon. Egne beregninger på bakgrunn av tall fra Biomar, SSB og Nofima.

Tabell 5.1.1. viser dagens forbruk av pelagisk fisk i norsk lakseoppdrett. Vi ser at det totale forbruket av pelagisk fisk i stor grad avhenger av fettinnholdet i fiskene, som benyttes i laksefôret, og laksedødeligheten som næringen opplever. FIFO-koeffisienten er beregnet ut fra det totale fiskeforbruket, både pelagisk fiskemengde og avkapp, slik at vi for disse parameterne ikke har ekskludert rovfisken. Tabellen viser hvordan forbruket av fisk vil svinge på bakgrunn av fettinnholdet i fisken. En økt utnyttelse av fiskelever, som er rik på fett, vil derfor kunne redusere det totale fiskeforbruket i oljeproduksjonen. Arter som makrell og sild har et mye høyere fettinnhold under gitte sesonger, slik at dette vil styrke produksjonen periodisk. Vi tar utgangspunktet i det aggregerte gjennomsnittet i fettinnholdet, for å se bort fra slik sesongvariasjon. Med 8 % gjennomsnittlig fettinnhold i fisken som benyttes i oljeproduksjonen, trenger laksesektoren en pelagisk fiskemengde på over 2.1 millioner tonn med dagens dødelighetsnivå på 20 %.

5.2 Fremtidig vekst

I rapporten til SINTEF kommer det frem at den gjennomsnittlige produksjonsøkningen av oppdrettslaks de siste 20 årene før 2010, var rett i underkant av 10 % per år (Olafsen et al., 2012). Videre var den enda høyere mellom 2010 og 2016. Den økte lakseproduksjonen, som følge av økt etterspørsel, flere utdelte konsesjoner og forbedre produksjonsmetoder, var med på å gjøre oppdrettsnæringen i Norge til den dominerende og profitable industrien den er i dag. En næring som vil ha, og tror på, en videre økning i produksjonen. Det kommer frem i rapporten

Estimater og predikasjoner

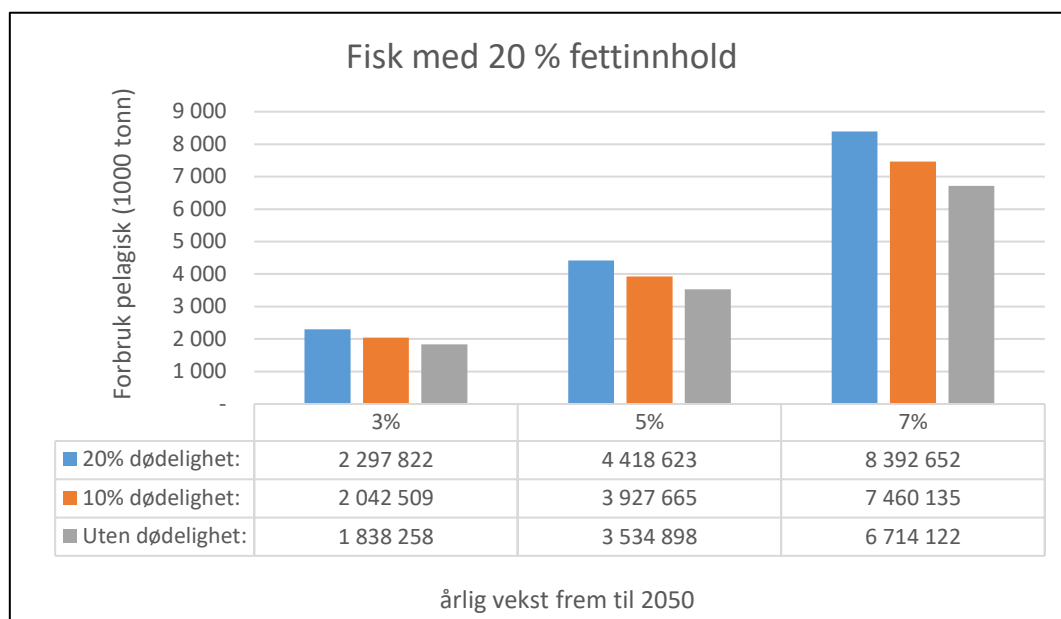


Figur 5.2.1. Prognose for produksjon av norsk oppdrettslaks (målt i salg av slaktet fisk) i år 2016, 2030 og 2050 etter henholdsvis 3, 5 og 7 % årlig vekst fra 2016. Egne beregninger på bakgrunn av tall fra Biomar, SSB og Nofima

at man sannsynligvis ikke vil få den samme høye gjennomsnittlige veksten per år frem mot 2050, men i stedet for en mer moderat vekst. De ser for seg tre ulike vekstalternativer for produksjonen på 3, 5 og 7 % per år. Av dette får vi en estimert produksjon av oppdrettslaks (målt i salg av slaktet fisk) på henholdsvis 3.4, 6.5 og 12.3 millioner tonn i år 2050, som følge av dagens produksjon på 1.2 millioner tonn (se Figur 5.2.1).

Med utgangspunkt i denne veksten har vi videre sett på hvordan dette vil påvirke behovet for den pelagiske fisken, med samme parametere og forutsetninger som i forrige delkapittel. Det forventes at dødelighetsraten i den norske lakseproduksjonen skal falle i tiden fremover, som følge av dagens høye verdier. Vi har derfor sett på forskjellige situasjoner hvor vi har inkludert lavere dødsfall enn det som er tilfellet i dag, med ulike nivåer på fettinnhold for den pelagiske fisken.

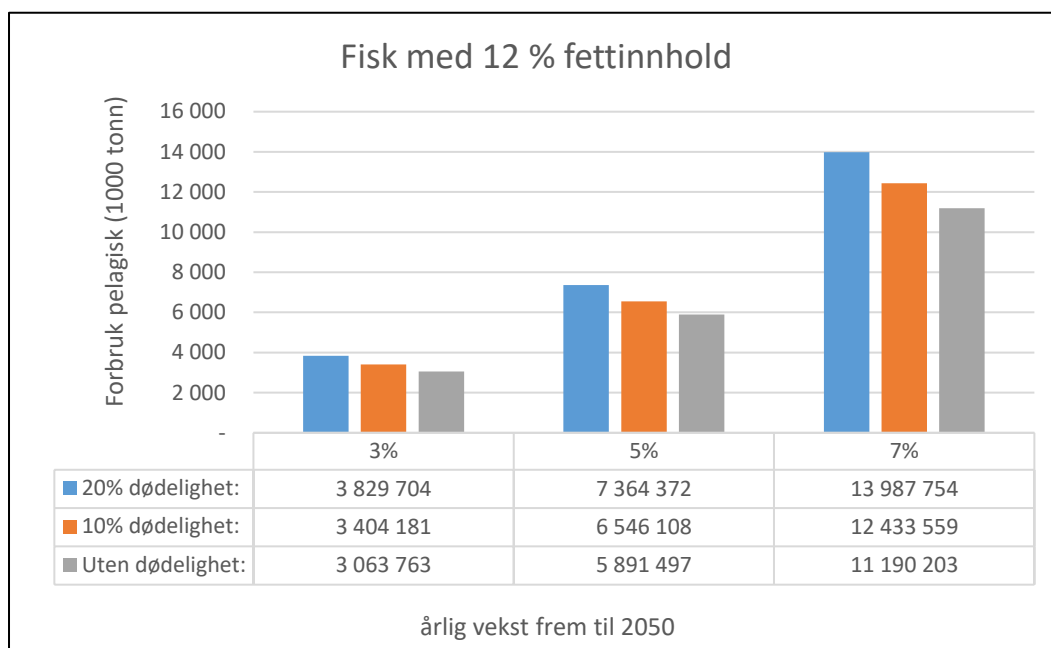
I figurene under har vi beregnet laksenæringens estimerte pelagiske fiskeforbruk etter en årlig vekst på 3, 5 og 7 % frem til 2050. Alle figurene viser resultater for beregninger gjort med 20, 10 og 0 % dødelighet. Figur 5.2.2 har tatt i betraktning at det er 20 % gjennomsnittlig fettinnhold i fôrfisken som benyttes i oljeproduksjonen, Figur 5.2.3 har tatt i betraktning at det er 12 %, mens Figur 5.2.4 har tatt i betraktning at det er 8 %. I den første figuren har vi en situasjon hvor næringen utnytter og har rikelig tilgang på fisk med høyt fettinnhold, samtidig som de har en stor andel fiskelever i avkappet. I en slik situasjon vil det pelagiske forbruket fra laksenæringen bli moderat. Det vil gi en FIFO-koeffisient, fra det vi fant i Tabell 5.1.1, som ligger et sted mellom 0.73 og 0.58, avhengig av hvilken dødelighet bransjen klarer å begrense seg til. Disse



Figur 5.2.2. Forbruk av pelagisk fisk i oppdrettsnæringen med 20 % fettinnhold. Egne beregninger på bakgrunn av tall fra Biomar, SSB og Nofima.

lave verdiene på FIFO-koeffisienten betyr at oppdretterne klarer å produsere en større mengde laks enn det de selv benytter av pelagisk fisk som fôr. Med slike verdier for fettinnhold og dødelighet ser det høye predikerte fiskefiskebruket ut til å være effektivt, men det er da ikke tatt i betraktning alternativkostnaden ved lakseoppdrett. Når oppdrettssektoren etterspør mer pelagisk fisk vil prisen på fisken øke, noe som igjen reduserer tilbudet til fattige mennesker som livnærer seg av denne opprinnelig billige matkilden. Et slikt fall i den pelagiske fisken vil også medføre et fall i bestanden til rovfisken, slik at både inntektene til fiskeriene og mulighetene for å konsumere disse ville artene vil falle.

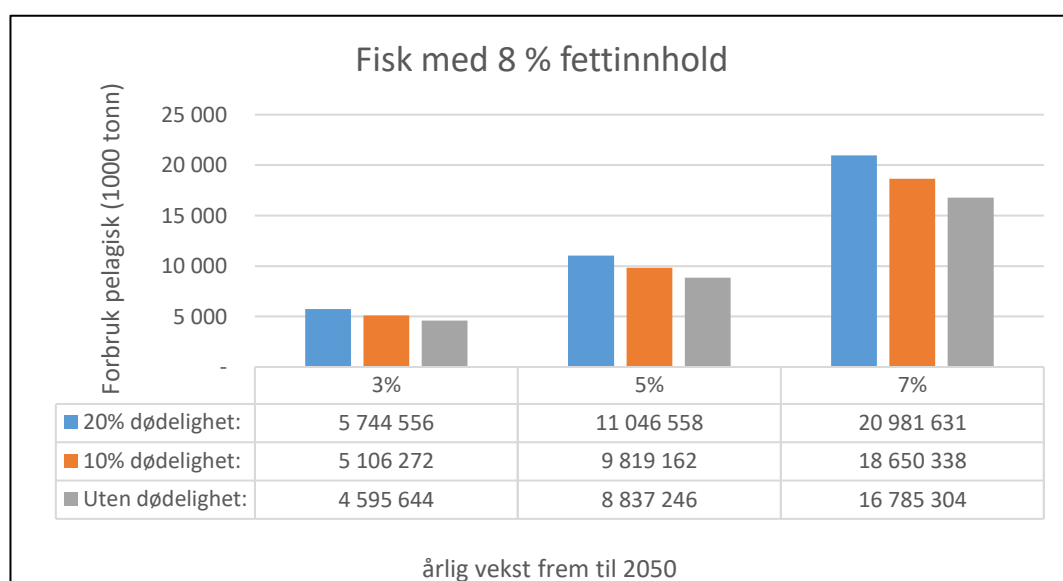
I den neste figuren, Figur 5.2.3, har vi en situasjon hvor næringen utnytter fisk med 12 % gjennomsnittlig fettinnhold. Nedgangen i fettinnholdet slår ut i mengden pelagisk fisk som trengs i produksjonen, og vi får et høyere estimert fiskeforbruk på hvert vekst- og dødelighetsnivå. I den siste figuren, Figur 5.2.4, har vi en situasjon hvor næringen utvinner fiskeolje fra pelagisk fisk og avkapp med gjennomsnittlige verdier på 8 %, som stemmer overens med dagens faktiske verdier rapportert fra BioMar Group (personlig kommunikasjon per epost, 30. april 2018). Dette gir de desidert høyeste estimatene på et totalt pelagisk fiskeforbruk med de ulike vekst og dødelighetsnivåene. Med 7 % årlig vekst i lakseproduksjonen fra 2016, og med en dødelighetsrate på 20 %, får vi et estimert pelagisk forbruk i år 2050 på nesten 21 millioner tonn. Det er over fem millioner tonn mer enn verdens fangst av pelagisk småfisk i 2016, som er de primære fôringsfiskene (se kapittel 3.2). Disse



Figur 5.2.3. Forbruk av pelagisk fisk i oppdrettsnæringen med 12 % fettinnhold. Egne beregninger på bakgrunn av tall fra Biomar, SSB og Nofima.

predikerte verdiene er store, og for samme fettinnholdsprosent ser vi også at FIFO-koeffisientene våre er høye sammenlignet med det de store fôrproducentene oppgir.

FIFO-koeffisienten vår, for 8 % fettinnhold, er cirka dobbelt så stor som den rapportert av både IFFO (0.82) og Biomar (0.93) (BioMar Group, 2016; IFFO, 2017). Siden vi benytter en annen estimeringsmetode, der ikke ubenyttet fisk blir fratrukket FIFO-koeffisienten, fremstår fremtidsutsiktene våre mer negative enn de fra næringen. Vi mener at selv om de oppnår en lavere FIFO-koeffisient vil næringen på et tidspunkt bli begrenset av den mest krevende innsatsfaktoren – fiskeolje – som blir tydelig vist her. Dette betyr at selv om dødeligheten skulle



Figur 5.2.4. Forbruk av pelagisk fisk i oppdrettsnæringen med 8 % fettinnhold. Egne beregninger på bakgrunn av tall fra Biomar, SSB og Nofima.

Estimater og predikasjoner

falle bort vil ikke en 7 % vekst frem mot 2050 være mulig om innsatsfaktorene eller fettprosenten til fôr fisken forblir som de er i dag. Veksten, uavhengig av vekstprosent, ser ut til å medføre et forsterket press på de pelagiske artene, noe som vil kunne bli kritisk for de overfiskede bestandene. Alternativt vil det være mulig at det menneskelige konsumet av disse artene blir ytterligere redusert, noe som gir et redusert mangfold av fiskeretter for konsumentene. Utvides høstingen vil flere av artene stå i fare for å bli utryddet, noe som vil gi betydelig reduserte framtidsutsikter for tilbudet av pelagisk fisk. En slik situasjon, eller et tilfelle hvor bestandene blir regulert slik at høstingen ikke kan utvides over dagens nivåer, vil begge føre til en situasjon som vi så i Figur 4.3.3. Produksjonen av laks vil ikke ha tilgang på en stor nok mengde fisk til å kunne produsere det de ønsker, slik at en økt substitusjon, eller andre teknologiske fremskritt, er nødvendig.

Et alternativ kan også være, som beskrevet i kapittel 4, å redusere rovfiskpopulasjonen, hvor vi så hvordan en redusert mengde rovfisk kunne føre til et større tilbud av pelagiske fisk. Rovfiskeriene vil dermed være nødt til å gå bort fra sin meyløsning slik at bestanden til rovfisken faller, noe som samtidig vil øke veksten av arten. Dette vil på samme tid også øke det totale tilbudet av mat ved at både mer rovfisk og laks vil kunne bli tilgjengelig på markedet. Taperne i en slik situasjon, gitt at ingen av bestandene overutnyttes, vil være rovfiskeriene som ender opp med en redusert profitt.

5.3 Planter

I det forrige delkapittelet så vi at en stor etterspørsel etter fôr fisk, som følge av ekspansjonsutsiktene til oppdrettsnæringen innen 2050, kunne være kritisk for de pelagiske fiskebestandene. Vekst i produksjonen av oppdrettslaks øker forbruk av fiskebaserte produkter, men også forbruket av planter. For å videre kunne se på lakseoppdrettens påvirkning på miljøet som følge av innsatsfaktorbruken, går vi nå inn på den andre primære delen av fôret: andelen av plantebaserte stoffer og spesielt soya. Vi vil, med dagens tall av tonn oppdrettslaks og fôrandel soya, finne ut hvor mye soya som går med i produksjonen ved de forskjellige fremtidige vekstforventningene frem mot 2050.

I rapporten fra Framtiden i våre hender oppgis det at andelen soya i laksefôret var på 22.8 % i 2013 (Lindahl, 2014). De beregnet at datidens soyaforbruk per kilo laks var på 0.2759 eller 275.9 gram. Denne beregningen har også tatt i betraktning død laks, siden så store mengder av dødeligheten oppstår rett før laksen er slakteklar. I dag, hvor andelen soya i norsk fiskefôr er på nesten 25 %, er det beregnede soyaforbruket, i kilo per kilo laks, på 0.3025 (Norges

Estimater og predikasjoner

sjømatråd/Sjømat Norge, 2016b). Den tilnærmede «SIFO»-koeffisienten, «soy in fish out», gir med dagens tall på oppdrettsproduksjonen, inkludert dødelighet, et soyaforbruk på rundt 466 tusen tonn fra den globale produksjonen på 338.9 millioner tonn. Ifølge FAO er den gjennomsnittlige avlingen av soya, målt i tonn per hektar, på 2.76 (Dros, 2004; FAO, 2018). Det vil si at det norske soyaforbruket i 2016 fra oppdrettsnæringen alene la beslag på mer enn 169 tusen hektar land, et område som tilsvarer over 17.4 % av Norges totale landbruksareal eller 227 tusen fotballbaner (forutsatt at en fotballbane er av internasjonale mål på 105x70 meter) (Landbruksdirektoratet, s.a.).

Ved å benytte de forskjellige vekst- og bestandsverdiene som vi så på i kapittel 5.2, vil vi kunne gi estimater på det forventede soyaforbruket når oppdrettsproduksjonen øker (se Tabell 5.3.1). Når den årlige produksjonsveksten fra 2016 til 2050 er på 7 %, og den forventede produksjonen av oppdrettslaks i 2050 er på 12.3 millioner tonn, blir det estimerte soyaforbruket fra oppdrettsnæringen 3.7 millioner tonn. Hvis vi inkluderer at 20 % av fiskene har dødd rett før de er slakteklare, blir det totale soyaforbruket til oppdrettsnæringen over 4.6 millioner tonn noe som er betraktelig høyere.

Vekst:	Predikert lakseproduksjon i 2050	Soyaforbruk uten dødelighet	Hektar benyttet i produksjonen	Soyaforbruk med dagens dødelighet	Hektar benyttet i produksjonen
7 %	12 309 190	3 723 800	1 349 203	4 654 750	1 686 504
5 %	6 480 630	1 960 533	710 338	2 450 666	887 922
3 %	3 370 130	1 019 538	369 398	1 274 423	461 747

Tabell 5.3.1. Estimert soyaforbruk fra oppdrettsnæringen i år 2050. De predikerte produksjonsverdiene etter 7, 5 og 3% årlig vekst gir estimert forbruk av soya uten og med dødelighet, målt i tonn. Egne beregninger på bakgrunn av tall fra FAO (2018) og rapporten fra Framtiden i våre hender (Lindahl, 2014).

Estimatene i Tabell 5.3.1 er gitt på bakgrunn av en uendret førsammensetning, som i utgangspunktet er lite sannsynlig. Siden det i dag ikke finnes gode substitutter for soya som produserer like mange proteiner per hektar, vil det økende behovet fra oppdrettssektoren gi en god indikasjon på de planteskapte arealkravene til næringen. Derimot vil mer effektive soyaproduksjonsteknikker og andre lignende teknologiske fremskritt ha en begrensende effekt på arealforbruket.

Den store substitusjonen mot soya for lakseindustrien kan derfor tenkes å ville medføre andre problemer enn de vi har sett på i havet, som følge av næringens ekspansjon. For næringen vil substitusjonen over mot billigere produkter ha en positiv effekt på profitten, men for verden vil kostnadene av en redusert regnskog kunne ha store konsekvenser. Som presentert i kapittel 2 medfører lakseoppdrett negative lokale miljøeffekter. Substitusjonen over på soya utvider

Estimater og predikasjoner

denne lokale miljøeffekten til å ha en global effekt. Samtidig overfører den norske stat store pengesummer til regnskogsfondet som skal bidra til en reduksjon av hogsten. Slik at substitusjonen i laksenæringen bidrar til ekstra sosiale kostnader som ikke regnes med når overskuddet til næringen skal beregnes. En annen faktor som er vanskelig å ta i betraktning er den positive effekten av en konsumendring fra kjøtt til laks, som nevnt i kapittel 3.4. I tillegg til at laksen har en mye høyere utnyttelse av proteiner, medfører også lakseproduksjon et mye lavere CO₂-utslipp enn det kjøttproduksjon gjør (Norges sjømatråd/Sjømat Norge, 2016a). SINTEF fiskeri og havbruk, NTNU, og SIKs (Institutet för Livsmedel och Bioteknik i Sverige) forskning viste til at CO₂-utslippet fra lakseproduksjonen var på cirka 2.25 kilo CO₂-elvalenter per produserte kilo laks, der de tilsvarende tallene for storfe og svin var henholdsvis 30- og 5.9 kilo (Fiskeri - og havbruksnæringens forskningsfond [FHF], 2009). En vekst i laksekonsumet som går på bekostning av kjøttkonsum vil derfor fortsatt kunne ha en positiv miljøeffekt, selv om tidligere regnskogarealer benyttes i soya produksjonen. Det viktige vil være at ikke mer skog hugges ned, men at åkrene som har produsert soya til kjøttproduksjon i stedet for går til laksenæringen.

Utfordringen med en videre reduksjon av fiskeinnholdet i fôret vil, som nevnt i kapittel 3, medføre et fall i laksens næringsinnhold. Om substitusjonen fortsetter slik den har gjort de siste årene vil kvaliteten på det endelige produktet synke betraktelig. Den videre substitusjonen må derfor begrenses slik at det ikke primært er planter som skal ta over for fiskeinnholdet, men andre råstoffer som opprettholder kvaliteten på laksen. Substitusjonen mot krill har allerede begynt (BioMar Group, 2016), og siden slike dyreplankton har et innhold tilsvarende den i fisk vil det dermed kunne begrense næringsinnhold fallet. Krillartene er som nevnt lite utnyttet, slik at vekstpotensialet vil være betydelig.

5.4 Krill som fôr

Krill som i dag er en underutnyttet art fremstår som en av de meste lovende forbedringene i fôrsammensetningen. Artene krever ikke teknologiske endringer, politiske endringer eller høstingsforbedringer, som derimot er nødvendig for at alger og genmodifiserte-planter (GM-planter) kan utnyttes i større grad. Utfordringen fremstår primært som et problem ved oppfølgingen av krillen på grunn av den store påvirkning den har på resten av det marine økosystemet. Innholdet av langkjedede omega 3-fettsyrer varierer med sesongene, noe som direkte påvirker laksefôret. Dette vil føre til perioder med lavere næringsinnhold for laksen, men sammenlignet med det som oppnås fra planter fremstår krillen som et godt alternativ.

Estimater og predikasjoner

Den antarktiske krillen, som er den mest lovende arten, er primært tilgjengelig i internasjonale farvann. Ut fra hvordan verdens fiske er i dag vet vi at kontroll og oppfølging er noe industrien er dårlige på, og desto vanskeligere er det i internasjonale farvann. Reguleringer er både vanskelige å definere og følge opp, og er noe som krever en felles enighet blant de involverte aktørene. Overutnyttelse av krillen, som er viktig for artene lenger oppe i næringskjeden, vil dermed kunne medføre en større negativ effekt enn de vi har sett fra dårlige kontrollerte fiskebestander. Det vil kunne redusere høstingen av både pelagisk fisk og rovfisk, samtidig som det vil gi et negativt utslag i mattilgang for hvaler og større marine arter.

En gradvis og kontrollert implementering av denne arten vil medføre store positive effekter på det totale mattilbudet. Det vil potensielt redusere presset på de pelagiske artene, samtidig som det vil løfte næringsinnholdet i oppdrettsfisken. Et økt krillforbruk vil i tillegg kunne redusere behovet for planter, slik at vi oppnår et lavere press på regnskogene. Benyttelsen av krill vil dermed gi oss mye om det blir gjort på en god måte, samtidig som vi risikerer høye alternativkostnader om høstingen gjøres uforsvarlig.

6 Konklusjon

Vi har i denne oppgaven brukt en interaksjonsmodell for pelagisk fisk og rovfisk fra havet, og sett på hvordan den eksogent bestemte bestanden av oppdrettslaks påvirker de ville fiskeartene. Formålet har vært å kartlegge fotavtrykket til den norske lakseproduserende oppdrettssektoren og undersøke hvilke effekter en produksjonsøkning har på innsatsfaktorene de benytter. Vi har med dette gått dypere inn i fôrforbruket enn det andre har sett på i sine interaksjonsmodeller, hvor oppdrettssektoren har vært inkludert.

Interaksjonsmodellen vi har benyttet er av typen «predator-prey» med Lokta–Volterra vekstfunksjoner. Vi definerte en open access- og mey-tilpasning til henholdsvis pelagisk fisk- og rovfiskfiskeriene, hvor vi så at den eksogent bestemte produksjonen av oppdrettslaks, gitt av konsesjonene, påvirket likevektsløsningene gjennom prisene på den pelagiske fisken.

Vi så at en høy vekst i laksesektoren førte til en høy etterspørsel etter fôr-fisk, som setter et press på de marine ressursene, og en høyere etterspørsel etter soya. For å tydeliggjøre dette presset beregnet vi laksesektorens estimerte pelagisk fiske- og soyaforbruk, for i dag og ved fremtidig oppdrettsproduksjon. Den fremtidige oppdrettsproduksjonen ble definerte av vekstutsiktene i SINTEFs rapport, som var på 3, 5 og 7 % årlig vekst frem mot år 2050. Vi så videre på forskjellige scenarioer der vi betraktet ulike nivåer på fettinnholdet til fisken benyttet i fôrproduksjon, og laksedødelighet som ga ulike utfall i forbruket. Etter dette sammenlignet vi det predikerte soya- og fiskeforbruket med dagens høsting og fangst, for å se om vekstutsiktene fra SINTEF rapporten var troverdige.

Ut fra våre predikasjoner fremstår den årlige veksten, spesielt ved 7 %, som for høy sett i forhold til dagens utnyttelse av de pelagiske artene. Forbruket under en slik vekst vil være større enn det som høstes av pelagisk småfisk i dag. Det vil samtidig kreve et soyaforbruk som benytter nesten det dobbelte av Norges totale landbruksareal, i områder som tidligere var regnskog. Selv ved 5 % årlig vekst vil nesten alt av dagens høstede pelagiske fisk gå til laksenæringen. Ved alle vekstutfallene vil en høyere etterspørsel etter fisk øke prisene. En slik endring vil redusere mattilgangen til de fattigste, gjennom en svekket kjøpekraft, i tillegg til at det globale mattilbudet faller om ikke fôringsfaktoren forbedres. Det økte fiskeforbruket vil forsterke overfiskeproblemet, sette nye bestander i fare og i verste fall utrydde arter, hvis ikke gode og vedvarende reguleringer blir innført.

Konklusjon

Det er grunn til å tro at markedsmekanismer vil gjøre slik at laksenæringen aldri kommer i en situasjon hvor de konsumerer all den pelagiske fisken. Prisen på fiskeprodukter vil stige, slik at det oppstår en større grad av substitusjon mot andre alternative innsatsfaktorer. En vridning mot plantemateriale som inneholder omega 3, for eksempel GM-planten Camelina eller alger, vil redusere det marine presset, men vil igjen kreve store landområder som alternativt kunne vært brukt til annet jordbruk. En overgang til en større andel krill vil dempe høstingen av høyt utnyttede pelagiske fiskebestander, men kan medføre andre negative konsekvenser.

Muligheter i fremtiden vil være en kombinasjon av økt andel krill, der høstingen tar hensyn til de negative effektene som påføres økosystemet, og genmodifiserte planteprodukter. En aksept for bruk av genmodifisert soya vil gjøre det mer effektivt å produsere arten, noe som reduserer arealforbruket, i tillegg til at den kan importeres fra land som ikke benytter tidligere regnskogsområder. Om næringen kan oppnå en 7 % årlig vekst fremstår som usikkert, men det er tydelig at laksesektoren ikke kan ha den samme innsatsfaktorbruken og dødeligheten som den har i dag i tiden fremover.

A. Referanser

- Alder, J., Campbell, B., Karpouzi, V., Kaschner, K. & Pauly, D. (2008). Forage fish: from ecosystems to markets. *Annual review of environment and resources*, 33.
- Allison, E.H., Perry, A.L., Badjeck, M.C., Neil Adger, W., Brown, K., Conway, D., . . . Andrew, N.L. (2009). Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and fisheries*, 10(2), 173-196.
- Almås, K.A. & Ratvik, I. (2017). OC2017 A-092: Sjøkart mot 2050: Tiltak for utvikling av biologisk baserte marine næringer mot 2050. fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2456385/Sj%25C3%25B8kart%2B-%2B7.april%2B2017.pdf?sequence=1>
- Andreassen, I.M. (2012, 8. oktober). Villfisk rundt oppdrettsanlegg bør utnyttes bedre. *nofima.no*. Hentet fra <https://nofima.no/nyhet/2012/10/villfisk-rundt-oppdrettsanlegg-bor-utnyttes-bedre/>
- Asche, F. & Bjørndal, T. (2011). *The economics of salmon aquaculture* (2 utg. Vol. 10): John Wiley & Sons.
- Asche, F. & Roll, K.H. (2014). Oppdrettsnæringen. I O. Flåten & A. Skonhoft (red.), *Naturressursenes økonomi* (s. 344-377). Oslo: Gyldendal Akademisk
- Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E. & Rothery, P. (2004). Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature*, 432, 100.
doi:10.1038/nature02996
- Berge, A. (2017, 4 januar). Laks- og ørreteksporten tredoblet på åtte år. *iLaks.no*. Hentet fra <https://ilaks.no/laks-og-orreteksporten-tredoblet-pa-atte-ar/>
- BioMar Group. (2016). Sustainability Report 2016. GRI G4 framework and the UN SDG. fra http://www.biomar.com/globalassets/norway-no/blocks-no-content--images/barekraft/biomar-gri-report_2016_web.pdf
- Chauton, M.S., Reitan, K.I., Norsker, N.H., Tveterås, R. & Kleivdal, H.T. (2015). A techno-economic analysis of industrial production of marine microalgae as a source of EPA and DHA-rich raw material for aquafeed: Research challenges and possibilities. *Aquaculture*, 436, 95-103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.038>
- Chiu, A., Li, L., Guo, S., Bai, J., Fedor, C. & Naylor, R.L. (2013). Feed and fishmeal use in the production of carp and tilapia in China. *Aquaculture*, 414, 127-134.
- Dros, J.M. (2004). Managing the Soy Boom: Two scenarios of soy production. *Amsterdam: AIDEnvironment*.

Referanser

- Duarte, C.M., Holmer, M., Olsen, Y., Soto, D., Marbà, N., Guiu, J., . . . Karakassis, I. (2009). Will the Oceans Help Feed Humanity? *BioScience*, 59(11), 967-976.
doi:10.1525/bio.2009.59.11.8
- En gladmelding for norsk oppdrett. (2016, 14. september). *vetinst.no*. Hentet fra <https://www.vetinst.no/nyheter/en-gladmelding-for-norsk-oppdrett>
- FAO. (2009). Fish as feed inputs for aquaculture: Practices, sustainability and implications. fra <http://www.fao.org/docrep/012/i1140e/i1140e.pdf>
- FAO. (2014). The state of world fisheries and aquaculture 2014: Opportunities and challenges. fra <http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf>
- FAO. (2016). The state of world fisheries and aquaculture 2016: Contributing to food security and nutrition for all. fra <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>
- FAO. (2017a). Aquaculture production and trade trends: carp, tilapia and shrimp. fra <http://www.fao.org/fi/static-media/MeetingDocuments/WorkshopAMR17/presentations/28.pdf>
- FAO. (2017b). China becomes largest pangasius market in Asia. fra <http://www.fao.org/in-action/globefish/market-reports/resource-detail/en/c/903636/>
- FAO. (2018). FAOSTAT: Crops. fra <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- FAO. (s.a.). Global Production Statistics 1950-2016. fra <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/query/en>
- Fiskeri- og kystdepartementet. (2013). *Endringer i akvakulturloven*. (Prop. 103 L (2012–2013)). Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/105e32d959b640c0a89a44acaf8a96ae/no/pdfs/prp201220130103000dddpdfs.pdf>.
- Fiskeri - og havbruksnæringens forskningsfond [FHF]. (2009). Miljøregnskap for fiskeri- og havbruksnæringen i Norge. fra <https://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=900097>
- Fiskeridirektoratet. (2016). Overvåkingen av rømt laks dekker mange behov. fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Nyheter/2016/0416/Overvaakingen-av-roemt-laks-dekker-mange-behov>
- Fiskeridirektoratet. (2017a). Lønnsomhetsundersøkelse for produksjon av laks og regnbueørret 2016. fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Statistiske-publikasjoner/Loenksomhetsundersoekelser-for-laks-og-regnbueoerret>

Referanser

- Fiskeridirektoratet. (2017b). Nasjonalt overvåkingsprogram for rømt oppdrettslaks i vassdrag. fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Drift-og-tilsyn/Roemming/Overvaakingsprogram-for-roemt-oppdrettslaks-i-vassdrag>
- Fiskeridirektoratet. (2018). Rømmingsstatistikk. fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Roemmingsstatistikk>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2016). The state of world fisheries and aquaculture 2016: Contributing to food security and nutrition for all., fra <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>
- Glover, K.A., Aronsen, T., Bakke, G., Barlaup, B., Fiske, P., Florø-Larsen, B., . . . Wennevik, V. (2016). Felthåndbok for overvåking av rømt oppdrettslaks. Rapport fra Havforskningen; 16-2016. fra http://www.imr.no/filarkiv/2016/04/felthandbok_romt_oppdrettslaks-web.pdf/nb-no
- Guinée, J., Heijungs, R., De Koning, A., Van, L., Geerken, T., Van Holderbeke, M., . . . Delgado, L. (2006). Environmental Impact of Products (EIPRO): Analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU25. fra http://ec.europa.eu/environment/ipp/pdf/eipro_report.pdf
- Hannesson, R. (1983). Optimal harvesting of ecologically interdependent fish species. *Journal of Environmental Economics and Management*, 10(4), 329-345.
- Hannesson, R. (2003). Aquaculture and fisheries. *Marine policy*, 27(2), 169-178.
- Havforskningsinstituttet. (2018, 21. januar). Miljøeffekter av lakselusmidler. *hi.no*. Hentet fra https://www.hi.no/temasider/parasitter/lus/lakselus/miljoeffekter_av_lakselusmidler/nb-no
- Herrero, M., Havlík, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M.C., Thornton, P.K., . . . Obersteiner, M. (2013). Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52), 20888-20893. doi:10.1073/pnas.1308149110
- Hilborn, R., Branch, T.A., Ernst, B., Magnusson, A., Minte-Vera, C.V., Scheuerell, M.D. & Valero, J.L. (2003). State of the World's Fisheries. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 359-399. doi:10.1146/annurev.energy.28.050302.105509
- Hjeltnes, B., Bornø, G., Jansen, M.D., Haukaas, A. & Walde, C. (red.). (2017). *Fiskehelserapporten 2016*: Veterinærinstituttet.
- Ivanovs, K. & Blumberga, D. (2017). Extraction of fish oil using green extraction methods: a short review. *Energy Procedia*, 128, 477-483. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.033>

Referanser

- Iversen, A., Hermansen, Ø., Brandvik, R.K., Marthinussen, A. & Nystøyl, R. (2016). Kostnader for lakseoppdrett i konkurrentland. Drivkrefter og betydning for konkurransesituasjonen. Nofima rapportserie. fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/id/456026/Rapport+40-2016.pdf>
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R. & Hess, E.J. (2017). Kostnadsutvikling i lakseoppdrett–med fokus på fôr-og lusekostnader. Nofima rapportserie. fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2481501/Rapport%2b24-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Johannessen, O.H. (2009). *Oppdrettet pangasius (Pangasius hypophthalmus) fra Asia. - næringsinnhold sammenlignet med tradisjonell norsk sjømat* (Masteroppgave, Universitetet i Tromsø). Hentet fra <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/1902/thesis.pdf?sequence=2>
- Karlsen, Ø., Finstad, B., Ugedal, O. & Svåsand, T. (2016). Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjonsområder basert på lakselus som indikator. Rapport fra Havforskningen; 14-2016. fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/c52308cc47874c95b68bf98f2c50d8a0/kunnskapsstatus-som-grunnlag-for-kapasitetsjustering-innen-produksjonsomrader-basert-pa-lakselus-som-indikator.pdf>
- Kraugerud, R.L. (2016a, 15. august). Kvaliteten til sei som beiter nær oppdrettsanlegg er dokumentert. *nofima.no*. Hentet fra <https://nofima.no/nyhet/2016/08/kvaliteten-til-sei-som-beiter-naer-oppdrettsanlegg-er-dokumentert/>
- Kraugerud, R.L. (2016b, 23. juni). Omega-3-fordelingens balansekunst. *nofima.no*. Hentet fra <https://nofima.no/nyhet/2016/06/omega-3-fordelingens-balansekunst/>
- Laksetildelingsforskriften. (2005). *Forskrift om tildeling, endring og bortfall av konsesjoner og lokaliteter for oppdrett av laks, ørret og regnbueørret (laksetildelingsforskriften). FOR-2004-12-22-1798*. Hentet fra <https://www.fiskeridir.no/Yrkesfiske/Regelverk-og-reguleringer/J-meldinger/Utgatte-J-meldinger/J-10-2005>.
- Landbruksdirektoratet. (s.a.). Jordbruksareal i drift. fra <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/statistikk/utvikling/jordbruksareal>
- Lindahl, H. (2014). Godt brasiliansk. En kartlegging av soyaforbruket i norsk landbruk og oppdrettsnæring. Framtiden i våre hender. fra <http://fido.nrk.no/fab04bde922c8c99b807860782be5938ff7b2b1311a0984f59b4f4daa5352ba3/Soyarapport.pdf>

Referanser

- Liu, Y., Olaussen, J.O. & Skonhøft, A. (2011). Wild and farmed salmon in Norway—A review. *Marine Policy*, 35(3), 413-418.
- Liu, Y., Olaussen, J.O. & Skonhøft, A. (2014). Fishy fish? the economic impacts of escaped farmed fish. *Aquaculture Economics & Management*, 18(3), 273-302.
- Marine Harvest. (2016). Salmon farming industry handbook 2016. fra <https://hugin.info/209/R/2023118/751659.pdf>
- Miljødirektoratet. (2015, 03. desember). Lakselus. *miljøstatus.no*. Hentet fra <http://www.miljostatus.no/lakselus/>
- Miljødirektoratet. (2016, 13. september). Utslipp av næringsalter fra fiskeoppdrett. *miljøstatus.no*. Hentet fra <http://www.miljostatus.no/tema/hav-og-kyst/overgjodsling/utslipp-av-naringsalter-fra-fiskeoppdrett/>
- Miljødirektoratet. (2017, 22. mai). Overgjødsling. *miljøstatus.no*. Hentet fra <http://www.miljostatus.no/overgjodsling>
- Moldal, T., Løkka, G., Wiik-Nielsen, J., Austbø, L., Torstensen, B.E., Rosenlund, G., . . . Koppang, E.O. (2014). Substitution of dietary fish oil with plant oils is associated with shortened mid intestinal folds in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *BMC veterinary research*, 10(1), 60.
- Murphy, E.J. (2016). Chapter 8 - Camelina (*Camelina sativa*) A2 - McKeon, Thomas A. I D.G. Hayes, D.F. Hildebrand & R.J. Weselake (red.), *Industrial Oil Crops* (s. 207-230): AOCS Press.
- Nagelsen, V. (2018, 27. april). Lusemiddel førte til dødelighet hos strandreker. *hi.no*. Hentet fra <https://www.hi.no/hi/nyheter/2018/januar/lusemiddel-for-te-til-dodelighet-hos-strandreker>
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C., Clay, J., . . . Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790), 1017.
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., . . . Hua, K. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36), 15103-15110.
- Norges forskningsråd. (s.a.). Resultater fra NORKLIMA. fra <https://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition%3A&blobheadervalue1=+attachment%3B+filename%3DNORKLIMAFa>

Referanser

- [ktaark1013web.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1274504792792&ssbinary=true](https://www.regjeringen.no/contentassets/fd62206e674749aa9279ec269d01568e/norges_miljovernforbund.pdf)
- Norges Miljøvernforbund [NMF]. (2014). Høringsuttalelse på forskrift om auke av maksimalt tillaten biomasse for løyve til akvakultur med laks, aure og regnbogeaure, . fra https://www.regjeringen.no/contentassets/fd62206e674749aa9279ec269d01568e/norges_miljovernforbund.pdf
- Norges sjømatråd/Sjømat Norge. (2011). Fakta om fisk. fra <https://seafood.azureedge.net/48d4e6/globalassets/markedsforing/materiell/generelt/fakta-om-fisk.pdf>
- Norges sjømatråd/Sjømat Norge. (2016a, 26. mai). How do farmed salmon affect CO2 emissions? . *salmonfacts.com*. Hentet fra <https://salmonfacts.com/salmon-and-environment/how-does-farmed-salmon-affect-co2-emissions/>
- Norges sjømatråd/Sjømat Norge. (2016b, 20. april). Soya og Laksefôr. *laksefakta.no*. Hentet fra <https://laksefakta.no/hva-spiser-laksen/soya-og-laksefor/>
- NORM/NORM-VET 2015. (2016). Usage of Antimicrobial Agents and Occurrence of Antimicrobial Resistance in Norway. ISSN: 1502-2307 (print) / 1890-9965 (electronic). fra <https://unn.no/Documents/Kompetansetjenester,%20sentre%20og%20fagr%C3%A5d/NORM%20%20Norsk%20overv%C3%A5kingssystem%20for%20antibiotikaresistens%20hos%20mikrober/Rapporter/NORM%20NORM-VET%202016.pdf>
- . Norsk laks fra fjord til bord. (s.a.). fra <https://laks.no/lakseproduksjon/>
- Norske Lakseelver. (2016). *Hørings svar: Implementering av Meld. St. 16 (2014-2015)*. (Hørings svar av Oslo; 21.09.2016). Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/2327db7995364d28904bf70d619b8ea2/norske-lakseelver.pdf>.
- Nærings- og fiskeridepartementet. (2015). *Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett*. (Meld. St. 16 (2014–2015)). Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/6d27616f18af458aa930f4db9492f5e5/no/pdfs/stm201420150016000dddpdfs.pdf>.
- Nærings- og fiskeridepartementet. (2017). Regjeringen skrur på trafikklyset. fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-skrur-pa-trafikklyset/id2577032/>
- Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y. & Skjermo, J. (2012). Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. *Det Kongelige*.

Referanser

- Olaussen, J.O. (2016, 4 januar). - Lakselusproblemet må gi kutt i oppdrett. *sintef.no*. Hentet fra <https://www.sintef.no/siste-nytt/-lakselusproblemet-ma-gi-kutt-i-oppdrett/>
- Olsen, Y. (2011). Resources for fish feed in future mariculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 1(3), 187-200.
- Pelletier, N. & Tyedmers, P. (2010). Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000–2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18371-18374. doi:10.1073/pnas.1004659107
- Pike, I.H. & Jackson, A. (2010). Fish oil: production and use now and in the future. *Lipid Technology*, 22(3), 59-61.
- Regnier, E. & Schubert, K. (2016). To what extent is aquaculture socially beneficial? A theoretical analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 99(1), 186-206.
- Ruiz-Lopez, N., Haslam, R.P., Napier, J.A. & Sayanova, O. (2014). Successful high-level accumulation of fish oil omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in a transgenic oilseed crop. *The Plant Journal*, 77(2), 198-208. doi:10.1111/tpj.12378
- Røed, H. (2013). *Fiskehistorier: Hvem skal eie havet?* Oslo: Manifest.
- ScienceDirect. (2018). Krill: Learn more about Krill. fra <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/krill>
- Skretting. (s.a.). What's in fish feed? , fra <https://www.skretting.com/en-AU/faqs/whats-in-fish-feed/>
- Solheim, C. (2015). *En kystnæring i emning. En studie av oppdrettsnæringens aktører i gjennombruddsårene på 1970-tallet.* (Masteroppgave, Universitetet i Bergen). Hentet fra <http://bora.uib.no/bitstream/handle/1956/10040/133478884.pdf>
- SSB. (2017a). 07681: Eksport av laks og regnbueørret, etter varegruppe 1971 - 2016. fra <https://www.ssb.no/statbank/table/07681?rxid=a614c748-1472-458e-9d5d-d48104861ccb>
- SSB. (2017b). Akvakultur. fra <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/fiskeoppdrett/aar>
- SSB. (2017c). Fiskeri. fra [https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/fiskeri/aar-
endelige](https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/fiskeri/aar-endelige)
- Statistisk Sentralbyrå [SSB]. (2017). 07326: Akvakultur. Salg av slaktet matfisk, etter fiskeslag (F) 1976 - 2016. fra <https://www.ssb.no/statbank/table/07326/?rxid=5de1488b-d675-4f80-b92e-17f8fded1f8a>

Referanser

- Steinset, T.A. (2017). Frå attåtnering til milliardindustri. *Samfunnsspeilet/Statistisk sentralbyrå*, 2017(1). <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/fra-attatnaering-til-milliardindustri>
- Svåsand, T., Grefsrud, E.S., Karlsen, Ø., Kvamme, B.O., Glover, K., Husa, V. & Kristiansen, T.S. (2017). Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2017. Fisken og havet, særnummer 2-2017. fra http://www.imr.no/filarkiv/2017/05/risikorapport_2017.pdf/nb-no
- Tacon, A.G. & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1-4), 146-158.
- Taranger, G.L., Svåsand, T., Kvamme, B.O., Kristiansen, T. & Boxaspen, K.K. (2014). Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2013. Fisken og havet, særnummer 2–2014. fra http://www.imr.no/filarkiv/2014/01/risikovurderingen_2013.pdf/nb-no
- The Marine Ingredients Organisation [IFFO]. (2017). Fish in: Fish Out (FIFO) ratios for the conversion of wild feed to farmed fish, including salmon. fra <http://www.iffonet/fish-fish-out-fifo-ratios-conversion-wild-feed>
- The World Wide Fund for Nature [WWF]. (2014, 22. januar). Frykter grov underrapportering av rømt oppdrettslaks. *wwf.no*. Hentet fra https://www.wwf.no/bibliotek/nyheter_fakta/?41526
- Torrissen, O., Hansen, P.K., Aure, J., Husa, V., Andersen, S., Strohmeier, T. & Olsen, R.E. (2016). Næringsutslipp fra havbruk - nasjonale og regionale perspektiv. Rapport fra Havforskningen; 21-2016. fra https://www.hi.no/filarkiv/2016/06/21-2016_neringsutslipp_fra_havbruk_ot.pdf/nb-no
- Torrissen, O., Olsen, R.E., Toresen, R., Hemre, G.I., Tacon, A.G., Asche, F., . . . Lall, S. (2011). Atlantic salmon (*Salmo salar*): the “super-chicken” of the sea? *Reviews in Fisheries Science*, 19(3), 257-278.
- Troell, M., Naylor, R.L., Metian, M., Beveridge, M., Tyedmers, P.H., Folke, C., . . . Ehrlich, P.R. (2014). Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(37), 13257-13263.
- Ytrestøyl, T., Aas, T.S. & Åsgård, T. (2015). Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture*, 448, 365-374. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.023>

B. Appendiks

B.1. Kap 2

B.1.1. Marin- og ferskvannsfangst: topp produsenter. Hentet fra (FAO, 2016).

MARINE CAPTURE PRODUCTION: MAJOR PRODUCERS						
COUNTRY OR TERRITORY	AVERAGE 2003–2012	2013	2014	VARIATION		
				AVERAGE (2003–2012) – 2014	2013– 2014	2013–2014
		(Tonnes)		(Percentage)		(Tonnes)
China	12 759 922	13 967 764	14 811 390	16.1	6.0	843 626
Indonesia	4 745 727	5 624 594	6 016 525	26.8	7.0	391 931
United States of America	4 734 500	5 115 493	4 954 467	4.6	-3.1	-161 026
Russian Federation	3 376 162	4 086 332	4 000 702	18.5	-2.1	-85 630
Japan	4 146 622	3 621 899	3 630 364	-12.5	0.2	8 465
Peru	7 063 261	5 827 046	3 548 689	-49.8	-39.1	-2 278 357
	918 049 ¹	956 416 ¹	1 226 560 ¹	33.6	28.2	270 144
India	3 085 311	3 418 821	3 418 821 ²	10.8	0.0	0
Viet Nam	1 994 927	2 607 000	2 711 100	35.9	4.0	104 100
Myanmar	1 643 642	2 483 870	2 702 240	64.4	8.8	218 370
Norway	2 417 348	2 079 004	2 301 288	-4.8	10.7	222 284
Chile	3 617 190	1 770 945	2 175 486	-39.9	22.8	404 541
	2 462 885 ¹	967 541 ¹	1 357 586 ¹	-44.9	40.3	390 045
Philippines	2 224 720	2 130 747	2 137 350	-3.9	0.3	6 603
Republic of Korea	1 736 680	1 586 059	1 718 626	-1.0	8.4	132 567
Thailand	2 048 753	1 614 536	1 559 746	-23.9	-3.4	-54 790
Malaysia	1 354 965	1 482 899	1 458 126	7.6	-1.7	-24 773
Mexico	1 352 353	1 500 182	1 396 205	3.2	-6.9	-103 977
Morocco	998 584	1 238 277	1 350 147	35.2	9.0	111 870
Spain	904 459	981 451	1 103 537	22.0	12.4	122 086
Iceland	1 409 270	1 366 486	1 076 558	-23.6	-21.2	-289 928
Taiwan Province of China	972 400	925 171	1 068 244	9.9	15.5	143 073
Canada	969 195	823 640	835 196	-13.8	1.4	11 556
Argentina	891 916	858 422	815 355	-8.6	-5.0	-43 067
United Kingdom	622 146	630 047	754 992	21.4	19.8	124 945
Denmark	806 787	668 339	745 019	-7.7	11.5	76 680
Ecuador	452 003	514 415	663 439	46.8	29.0	149 026
Total 25 major producers	66 328 843	66 923 439	66 953 612	0.9	0.0	30 173
WORLD TOTAL	80 793 507	80 963 120	81 549 353	0.9	0.7	586 233
SHARE 25 MAJOR PRODUCERS (PERCENTAGE)	82.1	82.7	82.1			

¹ Totals excluding catches of Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) by Peru and Chile.
² FAO estimate.

INLAND WATERS CAPTURE PRODUCTION: MAJOR PRODUCER COUNTRIES						
COUNTRY	AVERAGE 2003–2012	2013	2014	VARIATION		
				AVERAGE (2003–2012) –2014	2013–2014	2013–2014
		(Tonnes)		(Percentage)		(Tonnes)
China	2 215 351	2 307 162	2 295 157	3.6	–0.5	–12 005
Myanmar	772 522	1 302 970	1 381 030	78.8	6.0	78 060
India	968 411	1 226 361	1 300 000 ¹	34.2	6.0	73 639
Bangladesh	967 401	961 458	995 805	2.9	3.6	34 347
Cambodia	375 375	528 000	505 005	34.5	–4.4	–22 995
Uganda	390 331	419 249	461 196	18.2	10.0	41 947
Indonesia	324 509	413 187	420 190	29.5	1.7	7 003
Nigeria	254 264	339 499	354 466	39.4	4.4	14 967
United Republic of Tanzania	307 631	315 007	278 933	–9.3	–11.5	–36 074
Egypt	259 006	250 196	236 992	–8.5	–5.3	–13 204
Brazil	243 170	238 553	235 527	–3.1	–1.3	–3 026
Russian Federation	228 563	262 050	224 854	–1.6	–14.2	–37 196
Democratic Republic of the Congo	225 557	223 596	220 000 ¹	–2.5	–1.6	–3 596
Philippines	168 051	200 974	213 536	27.1	6.3	12 562
Thailand	212 937	210 293	209 800	–1.5	–0.2	–493
Viet Nam	198 677	196 800	208 100	4.7	5.7	11 300
Total 16 major countries	8 111 756	9 395 355	9 540 591	17.6	1.5	145 236
WORLD TOTAL	10 130 510	11 706 049	11 895 881	17.4	1.6	189 832
SHARE 16 MAJOR COUNTRIES (PERCENTAGE)	80.1	80.3	80.2			

¹ FAO estimate.

B.1.2. Top 25 produsenter og de vanligste gruppene av oppdrettede arter i 2014. Hentet fra (FAO, 2016).

MAJOR PRODUCERS	FINFISH		MOLLUSCS	CRUSTACEANS	OTHER AQUATIC ANIMALS	TOTAL AQUATIC ANIMALS	AQUATIC PLANTS	TOTAL AQUACULTURE PRODUCTION
	INLAND AQUACULTURE	MARINE/ COASTAL AQUACULTURE						
<i>(Thousand tonnes)</i>								
China	26 029.7	1 189.7	13 418.7	3 993.5	839.5	45 469.0	13 326.3	58 795.3
Indonesia	2 857.6	782.3	44.4	613.9	0.1	4 253.9	10 077.0	14 330.9
India	4 391.1	90.0	14.2	385.7	...	4 881.0	3.0	4 884.0
Viet Nam	2 478.5	208.5	198.9	506.2	4.9	3 397.1	14.3	3 411.4
Philippines	299.3	373.0	41.1	74.6	...	788.0	1 549.6	2 337.6
Bangladesh	1 733.1	93.7	...	130.2	...	1 956.9	...	1 956.9
Republic of Korea	17.2	83.4	359.3	4.5	15.9	480.4	1 087.0	1 567.4
Norway	0.1	1 330.4	2.0	...	...	1 332.5	...	1 332.5
Chile	68.7	899.4	246.4	...	...	1 214.5	12.8	1 227.4
Egypt	1 129.9	...	...	7.2	...	1 137.1	...	1 137.1
Japan	33.8	238.7	376.8	1.6	6.1	657.0	363.4	1 020.4
Myanmar	901.9	1.8	...	42.8	15.6	962.2	2.1	964.3
Thailand	401.0	19.6	209.6	300.4	4.1	934.8	...	934.8
Brazil	474.3	...	22.1	65.1	0.3	561.8	0.7	562.5
Malaysia	106.3	64.3	42.6	61.9	0.6	275.7	245.3	521.0
Democratic People's Republic of Korea	3.8	0.1	60.2	...	0.1	64.2	444.3	508.5
United States of America	178.3	21.2	160.5	65.9	...	425.9	...	425.9
Ecuador	28.2	0.0	...	340.0	...	368.2	...	368.2
Taiwan Province of China	117.3	97.8	99.0	21.9	3.6	339.6	1.0	340.6
Iran (Islamic Republic of)	297.5	0.1	...	22.5	...	320.2	...	320.2
Nigeria	313.2	...	...	...	...	313.2	...	313.2
Spain	15.5	44.0	222.5	0.2	0.0	282.2	0.0	282.2
Turkey	108.2	126.1	...	...	0.1	234.3	...	234.3
United Kingdom	13.5	167.3	23.8	...	...	204.6	...	204.6
France	43.5	6.0	154.5	0.0	...	204.0	0.3	204.3
TOP 25 SUBTOTAL	42 041.2	5 837.5	15 696.7	6 638.3	890.9	71 058.2	27 127.2	98 185.4
WORLD	43 559.3	6 302.6	16 113.2	6 915.1	893.6	73 783.7	27 307.0	101 090.7
PERCENTAGE OF TOP 25 IN WORLD TOTAL	96.5	92.6	97.4	96.0	99.7	96.3	99.3	97.1

Note: ... = production data not available or production negligible.

B.1.3. Global produksjon av atlantisk laks: Produksjonstall i 1000 tonn wfe (whole fish equivalent), fra 2005 – 2014E (hvor E indikerer estimat). Russland inngår i Andre. Hentet fra (Nærings- og fiskeridepartementet, 2015)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014E
Norge	574	599	723	741	856	945	1 006	1 183	1 144	1 196
Chile	385	369	356	403	239	130	221	364	468	575
UK	120	127	135	137	144	143	155	159	158	172
Canada	108	115	110	122	122	122	120	137	115	105
Færøyene	17	12	19	37	47	42	56	70	73	83
Australia	18	19	24	26	32	33	36	40	39	39
USA	10	10	12	17	16	18	18	20	20	20
Irland	12	15	15	11	15	18	16	16	11	12
Island	7	4	2	1	1	1	1	3	3	4
Andre	1	1	2	1	3	4	5	8	11	13
Totalt	1 252	1 271	1 398	1 496	1 475	1 456	1 634	2 000	2 042	2 219

B.1.4. Oppdrettsproduksjon delt opp i regioner. Hentet fra (FAO, 2016).

REGIONS AND SELECTED COUNTRIES		1995	2000	2005	2010	2012	2014
Africa	(thousand tonnes)	110.2	399.6	646.2	1 285.6	1 484.3	1 710.9
	(percentage)	0.45	1.23	1.46	2.18	2.23	2.32
Egypt	(thousand tonnes)	71.8	340.1	539.7	919.6	1 017.7	1 137.1
	(percentage)	0.29	1.05	1.22	1.56	1.53	1.54
Northern Africa, excluding Egypt	(thousand tonnes)	4.4	4.8	7.1	9.9	13.9	16.9
	(percentage)	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Nigeria	(thousand tonnes)	16.6	25.7	56.4	200.5	253.9	313.2
	(percentage)	0.07	0.08	0.13	0.34	0.38	0.42
Sub-Saharan Africa, excluding Nigeria	(thousand tonnes)	17.4	29.0	43.1	155.6	198.8	243.7
	(percentage)	0.07	0.09	0.10	0.26	0.30	0.33
Americas	(thousand tonnes)	919.6	1 423.4	2 176.9	2 514.2	2 988.4	3 351.6
	(percentage)	3.77	4.39	4.91	4.26	4.50	4.54
Caribbean	(thousand tonnes)	28.3	39.7	29.9	37.2	28.7	33.2
	(percentage)	0.12	0.12	0.07	0.06	0.04	0.05
Chile	(thousand tonnes)	157.1	391.6	723.9	701.1	1 071.4	1 214.5
	(percentage)	0.64	1.21	1.63	1.19	1.61	1.65
Latin America, excluding Chile	(thousand tonnes)	255.6	407.6	754.6	1 117.0	1 284.6	1 544.2
	(percentage)	1.05	1.26	1.70	1.89	1.93	2.09
North America	(thousand tonnes)	478.7	584.5	668.5	659.0	603.7	559.7
	(percentage)	1.96	1.80	1.51	1.12	0.91	0.76
Asia	(thousand tonnes)	21 677.5	28 422.5	39 188.2	52 439.2	58 954.5	65 601.9
	(percentage)	88.91	87.68	88.47	88.92	88.70	88.91
Central Asia	(thousand tonnes)	14.3	6.7	4.0	7.8	15.7	25.5
	(percentage)	0.06	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03
China (mainland)	(thousand tonnes)	15 855.7	21 522.1	28 120.7	36 734.2	41 108.3	45 469.0
	(percentage)	65.03	66.39	63.48	62.29	61.85	61.62
Eastern Asia, excluding China (mainland)	(thousand tonnes)	1 549.0	1 371.8	1 555.6	1 572.6	1 532.5	1 545.1
	(percentage)	6.35	4.23	3.51	2.67	2.31	2.09
Indonesia	(thousand tonnes)	641.1	788.5	1 197.1	2 304.8	3 067.7	4 253.9
	(percentage)	2.63	2.43	2.70	3.91	4.62	5.77
Viet Nam	(thousand tonnes)	381.1	498.5	1 437.3	2 670.6	3 084.8	3 397.1
	(percentage)	1.56	1.54	3.24	4.53	4.64	4.60
South-Eastern Asia, excluding Indonesia and Viet Nam	(thousand tonnes)	1 151.7	1 444.4	2 614.9	3 401.0	3 431.7	3 194.8
	(percentage)	4.72	4.46	5.90	5.77	5.16	4.33

(CONTINUED)

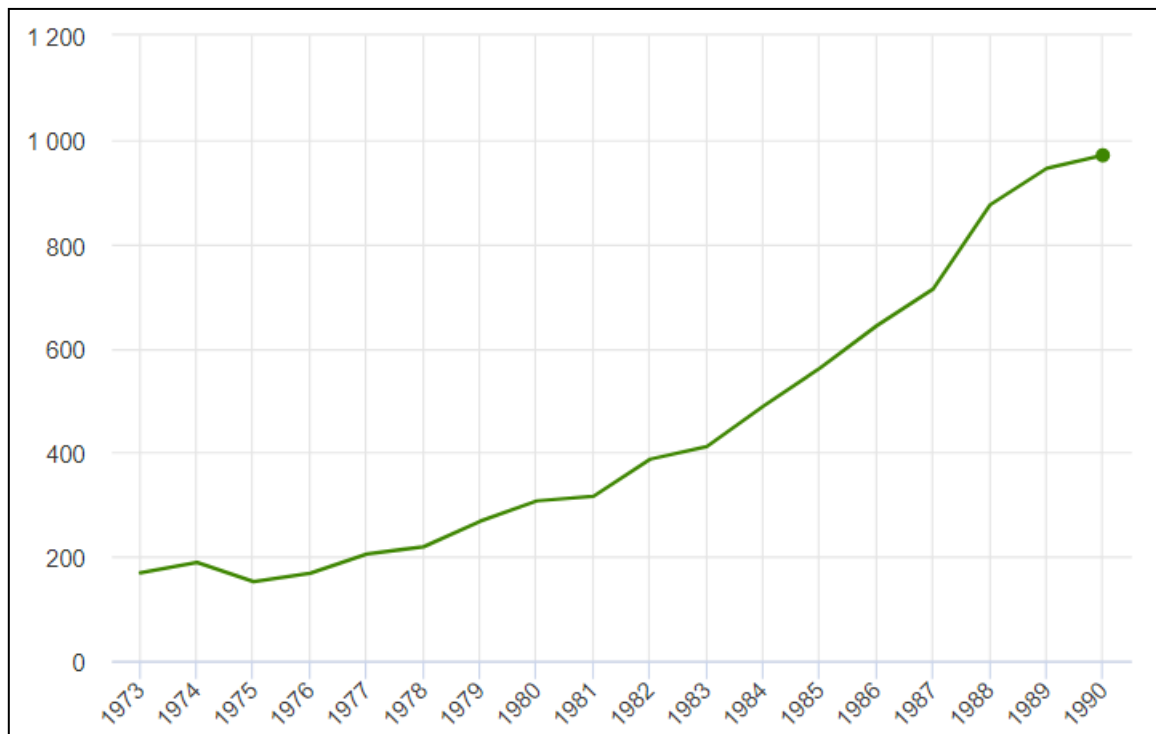
REGIONS AND SELECTED COUNTRIES		1995	2000	2005	2010	2012	2014
Bangladesh	(thousand tonnes)	317.1	657.1	882.1	1 308.5	1 726.1	1 956.9
	(percentage)	1.30	2.03	1.99	2.22	2.60	2.65
India	(thousand tonnes)	1 658.8	1 942.5	2 967.4	3 785.8	4 209.5	4 881.0
	(percentage)	6.80	5.99	6.70	6.42	6.33	6.62
Southern Asia, excluding India and Bangladesh	(thousand tonnes)	57.1	72.8	219.7	397.5	483.8	547.4
	(percentage)	0.23	0.22	0.50	0.67	0.73	0.74
Western Asia	(thousand tonnes)	51.7	118.0	189.5	256.3	294.5	331.4
	(percentage)	0.21	0.36	0.43	0.43	0.44	0.45
Europe	(thousand tonnes)	1 580.9	2 050.7	2 134.9	2 544.2	2 852.3	2 930.1
	(percentage)	6.48	6.33	4.82	4.31	4.29	3.97
Eastern Europe	(thousand tonnes)	183.5	195.9	239.0	251.3	278.6	304.3
	(percentage)	0.75	0.60	0.54	0.43	0.42	0.41
Norway	(thousand tonnes)	277.6	491.3	661.9	1 019.8	1 321.1	1 332.5
	(percentage)	1.14	1.52	1.49	1.73	1.99	1.81
Northern Europe, excluding Norway	(thousand tonnes)	205.6	309.0	327.6	363.5	391.3	402.8
	(percentage)	0.84	0.95	0.74	0.62	0.59	0.55
Southern Europe	(thousand tonnes)	480.6	640.8	541.5	573.5	579.3	595.2
	(percentage)	1.97	1.98	1.22	0.97	0.87	0.81
Western Europe	(thousand tonnes)	433.6	413.7	365.0	336.0	282.0	295.3
	(percentage)	1.78	1.28	0.82	0.57	0.42	0.40
Oceania	(thousand tonnes)	94.2	121.5	151.5	189.6	186.0	189.2
	(percentage)	0.39	0.37	0.34	0.32	0.28	0.26
WORLD	(thousand tonnes)	24 382.5	32 417.7	44 297.7	58 972.8	66 465.6	73 783.7

Notes: Data exclude aquatic plants and non-food products. Data for 2014 include provisional data for some countries and are subject to revisions. For this table, former Sudan and Sudan are included in Northern Africa without being double counted in the custom group of Sub-Saharan Africa. Details about countries and territories included in each geographical region for statistics purposes by FAO can be consulted at: UN, 2014. Composition of macro geographical (continental) regions, geographical sub-regions, and selected economic and other groupings. In: UN [online]. [Cited 16 March]. <http://unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49regin.htm>.

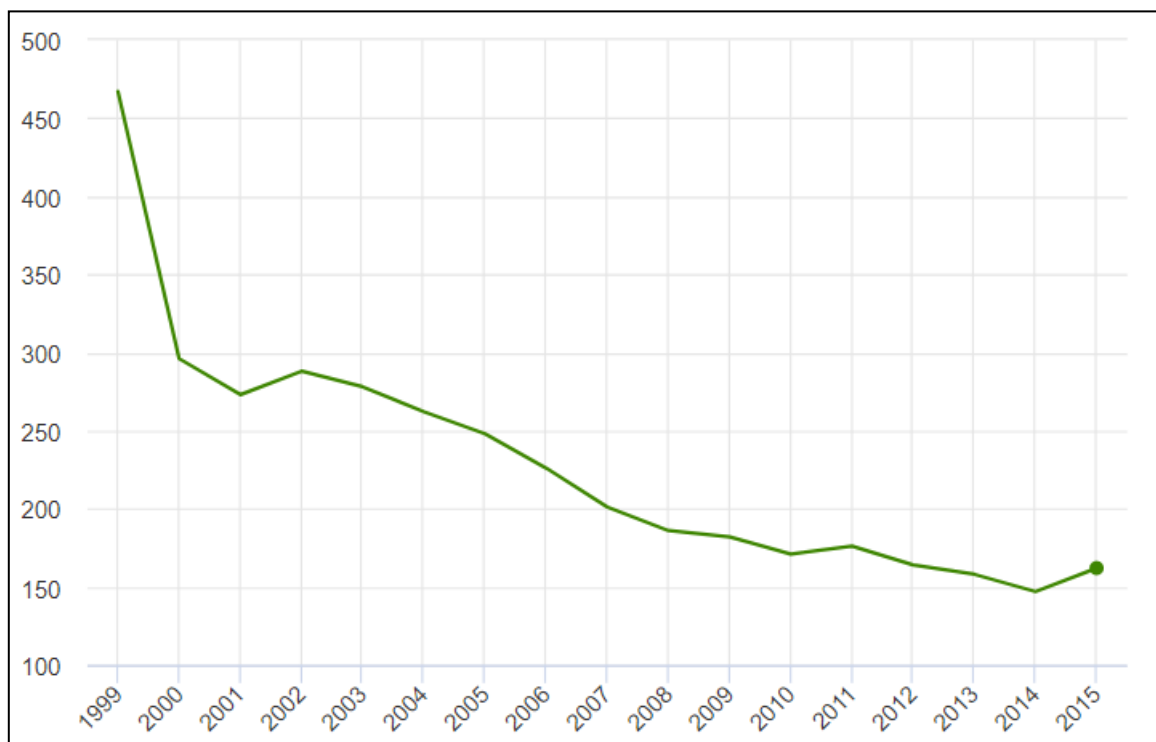
B.1.5. Produksjon av karpe og tilapia fra top 10 produsenter. Tall hentet fra (FAO, 2017a).

Top 10 produsenter 2015			
Karpe		Tilapia	
Land	Prod (1000 tonn)	Land	Prod (1000 tonn)
Kina	21,053	Kina	1,779.5
India	3,902	Indonesia	1,120.4
Bangladesh	996	Egypt	875.5
Myanmar	819	Bangladesh	324.3
Indonesia	519	Vietnam	283.0
Vietnam	411	Filipinene	261.2
Iran	184	Brasil	219.4
Pakistan	148	Thailand	177.6
Russland	104	Taiwan PoC	70.5
Egypt	95	Colombia	61.1

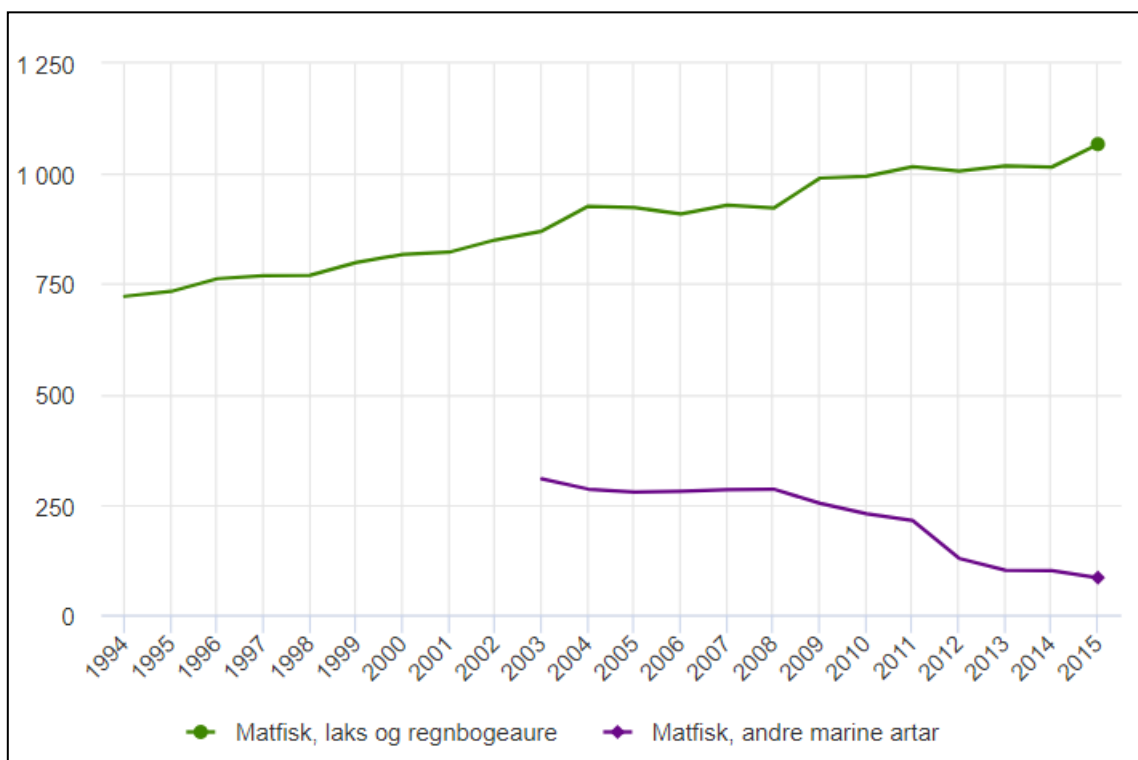
B.1.6. Foretak som produserer matfisk 1973-1990. Hentet fra (Steinset, 2017).



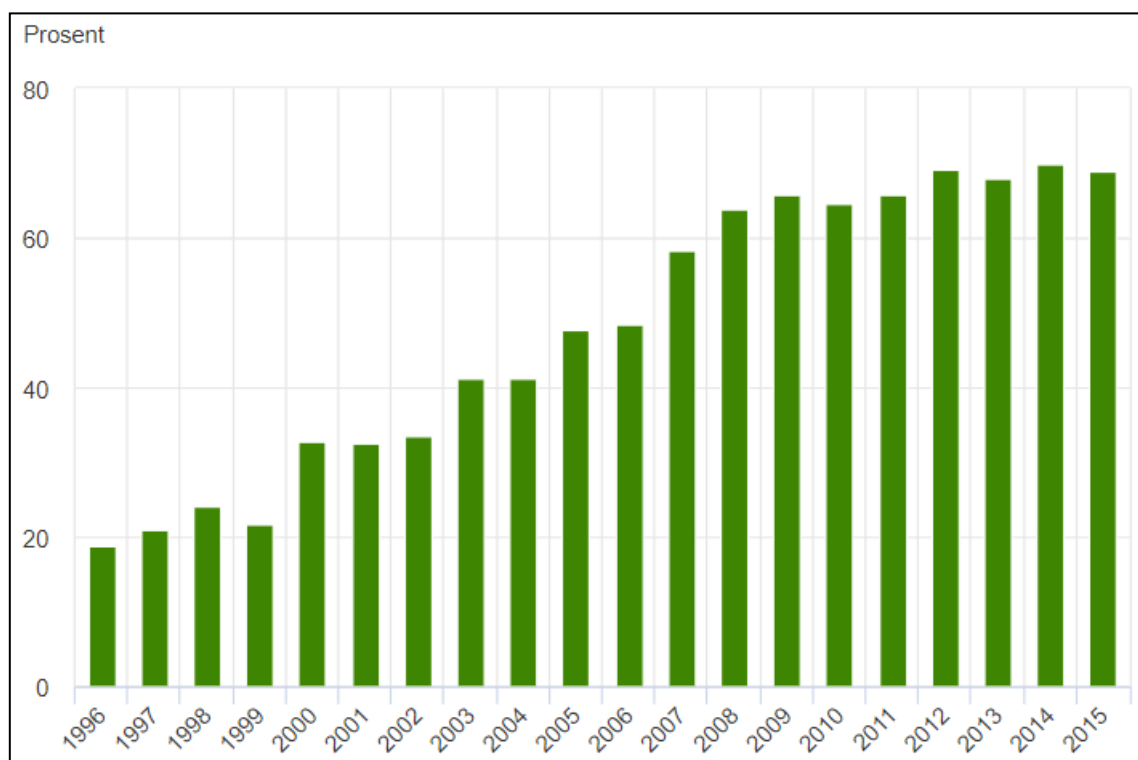
B.1.7. Foretak som produserer matfisk av laks og ørret 1999-2015. Hentet fra (Steinset, 2017).



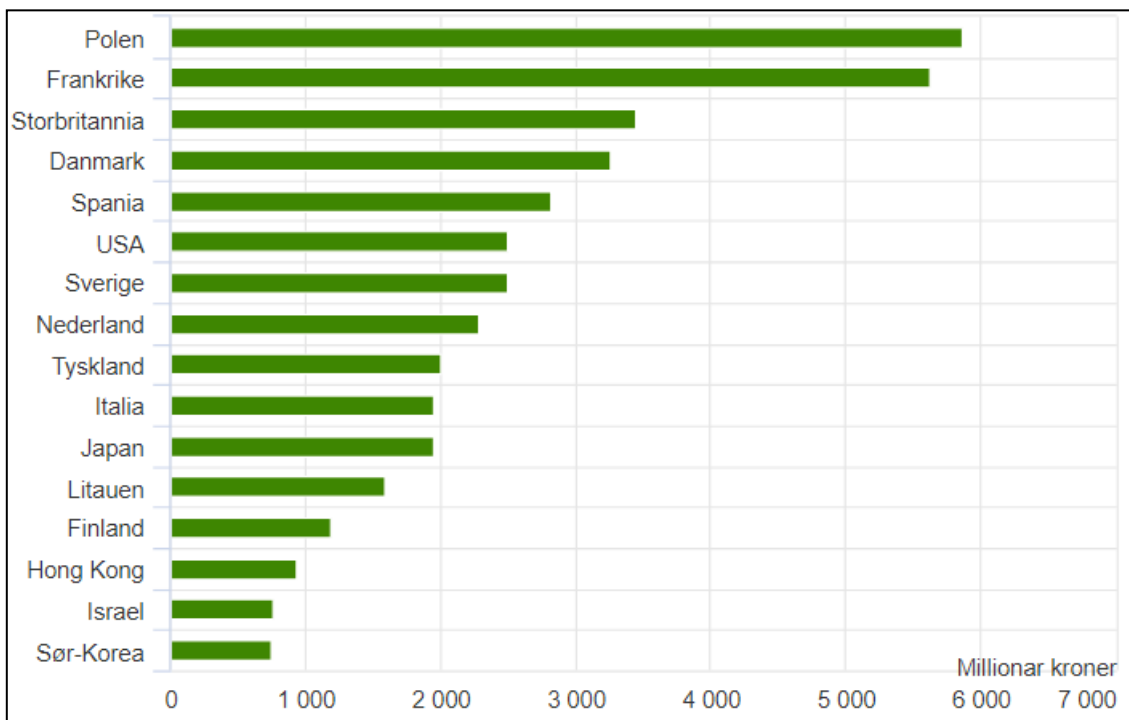
B.1.8. Tildelte konsesjoner i matfiskproduksjonen. Hentet fra (Steinset, 2017).



B.1.9. Andelen matfisk som blir produsert av de ti største oppdrettsforetakene. Hentet fra (Steinset, 2017).



B.1.10. Land med størst import av norsk laks fra Norge 2016. Hentet fra (Steinset, 2017).



B.1.11. Matfiskproduksjon. Resultat pr. selskap for hele landet. Hentet fra (Fiskeridirektoratet, 2017a).

E1. Matfiskproduksjon. Resultat pr. selskap for hele landet				
E.1.1. Utvalg				
		2014	2015	2016
Antall selskap i undersøkelsen	stk	88	88	84
Antall tillatelser i undersøkelsen	stk	685	683	743
Gj. antall tillatelser pr. selskap	stk	7,8	7,8	8,8
Antall tillatelser i drift (populasjonen) ¹⁾	stk	1 009	1 059	1 088
1) Kilde: Fiskeridirektoratets statistikk for akvakultur, endelige tall				
E.1.2. Resultatregnskap				
Gjennomsnittstall pr. selskap - hele landet				
		2014	2015	2016
Salgsinntekt av laks	kr	323 814 089	346 815 739	528 152 092
Salgsinntekt av regnbueørret	kr	26 029 287	24 282 998	47 735 477
Forsikringsutbetaling	kr	757 984	1 425 953	803 265
Annen driftsinntekt	kr	13 115 057	23 988 318	19 408 310
Sum driftsinntekter	kr	363 716 417	396 513 007	596 099 144
Smoltkostnad	kr	26 908 202	29 176 755	36 283 432
Førkostnad	kr	126 461 796	141 249 962	166 094 845
Forsikringskostnad (fisk)	kr	1 096 912	1 340 088	1 453 121
Slaktekostnad inkl. fraktkostnad	kr	26 269 093	31 613 237	37 199 114
Beholdningsendring fisk og varer (+/-)	kr	15 784 712	14 673 153	24 812 430
Lønnskostnader	kr	20 528 302	22 172 459	25 967 405
Avskrivninger på immaterielle eiendeler	kr	0	0	-148 548
Avskrivninger på driftsmidler	kr	13 516 055	16 955 696	20 553 992
Kostnad vedr. annen virksomhet	kr	6 119 272	6 629 534	6 644 765
Annen driftskostnad	kr	66 227 556	84 977 577	112 133 518
Sum driftskostnader	kr	271 342 478	319 442 156	381 369 214
Driftsresultat	kr	92 373 939	77 070 852	214 729 929
Finansinntekt	kr	5 406 885	5 494 974	6 317 500
Finanskostnad	kr	7 539 694	7 173 877	5 897 263
Netto finanskostnader	kr	-2 132 809	-1 678 903	420 238
Ord. resultat før skattekostnad	kr	90 241 130	75 391 949	215 150 167
E.1.3. Balanseregnskap				
Gjennomsnittstall pr. selskap - hele landet				
Eiendeler:				
		2014	2015	2016
Immaterielle eiendeler	kr	72 492 278	73 130 856	78 133 395
Tomter, bygninger og annen fast eiendom	kr	20 653 613	19 483 141	22 489 102
Oppdrettsutstyr og båter	kr	61 802 203	76 994 630	88 699 312
Driftsløsøre	kr	7 424 101	4 706 556	7 005 432
Sum varige driftsmidler	kr	89 879 917	101 184 327	118 193 846
Finansielle anleggsmidler	kr	37 534 092	38 803 388	44 040 431
Sum anleggsmidler	kr	199 906 287	213 118 571	240 367 671
Varer	kr	156 049 645	168 359 219	195 394 607
Fordringer og investeringer	kr	143 026 978	92 297 319	144 289 496
Bankinnskudd og kontanter	kr	26 731 675	25 567 273	72 599 045
Sum omløpsmidler	kr	325 808 297	286 223 811	412 283 148
Sum eiendeler	kr	525 714 584	499 342 381	652 650 819

B.1.12. Matfiskproduksjon. Resultat pr. konsesjon for hele landet. Hentet fra (Fiskeridirektoratet, 2017a).

E.5.1. Utvalg		2014	2015	2016
Antall selskap i utvalget	stk	88	88	84
Antall tillatelser i utvalget	stk	685	683	743
Gj. antall tillatelser pr. selskap	stk	7,8	7,8	8,8
Antall tillatelser i drift (populasjonen) ¹⁾	stk	1 009	1 059	1 088
1) Kilde: Fiskeridirektoratets statistikk for akvakultur, endelige tall				
E.5.2. Resultatregnskap		2014	2015	2016
Gjennomsnittstall pr. tillatelse - hele landet				
Salgsinntekt av laks	kr	41 599 474	44 684 897	59 710 331
Salgsinntekt av regnbueørret	kr	3 343 908	3 128 702	5 396 743
Forsikringsutbetaling	kr	97 376	183 725	90 813
Annen driftsinntekt	kr	1 684 854	3 090 735	2 194 210
Sum driftsinntekter	kr	46 725 613	51 088 060	67 392 097
Smoltkostnad	kr	3 456 820	3 759 230	4 102 030
Førkostnad	kr	16 246 187	18 199 117	18 777 883
Forsikringskostnad (fisk)	kr	140 917	172 661	164 283
Slaktekostnad inkl. fraktkostnad	kr	3 374 716	4 073 155	4 205 553
Beholdningsendring fisk og varer (+/-)	kr	2 027 817	1 890 538	2 805 174
Lønnskostnader	kr	2 637 213	2 856 774	2 935 750
Avskrivninger på immaterielle eiendeler	kr	0	0	-16 794
Avskrivninger på driftsmidler	kr	1 736 369	2 184 628	2 323 735
Kostnad vedr. annen virksomhet	kr	786 126	854 171	751 225
Annen driftskostnad	kr	8 508 066	10 948 795	12 677 275
Sum driftskostnader	kr	34 858 596	41 157 994	43 115 766
Driftsresultat	kr	11 867 017	9 930 066	24 276 331
Finansinntekt	kr	694 607	707 991	714 226
Finanskostnad	kr	968 603	924 306	666 716
Netto finanskostnader	kr	-273 996	-216 315	47 510
Ord. Resultat før skattekostnad	kr	11 593 021	9 713 750	24 323 841
E.5.3. Balanseregnskap		2014	2015	2016
Gjennomsnittstall pr. tillatelse - hele landet				
Immaterielle eiendeler	kr	9 312 877	9 422 424	8 833 385
Tomter, bygninger og annen fast eiendom	kr	2 653 311	2 510 273	2 542 509
Oppdrettsutstyr og båter	kr	7 939 553	9 920 245	10 027 917
Driftsløsøre	kr	953 753	606 408	792 000
Sum varige driftsmidler	kr	11 546 617	13 036 926	13 362 427
Finansielle anleggsmidler	kr	4 821 898	4 999 558	4 978 999
Sum anleggsmidler	kr	25 681 392	27 458 908	27 174 811
Varer	kr	20 047 254	21 691 964	22 090 373
Fordringer og investeringer	kr	18 374 269	11 891 895	16 312 675
Bankinnskudd og kontanter	kr	3 434 142	3 294 173	8 207 698
Sum omløpsmidler	kr	41 855 664	36 878 031	46 610 746
Sum eiendeler	kr	67 537 056	64 336 939	73 785 557
Sum egenkapital	kr	24 786 999	27 996 092	30 876 047
Avsetning for forpliktelser	kr	5 771 878	5 466 917	5 644 698
Annen langsiktig gjeld	kr	12 875 245	12 290 907	10 820 453
Kortsiktig gjeld	kr	24 102 934	18 583 023	26 444 359
Sum gjeld	kr	42 750 057	36 340 847	42 909 510
Sum gjeld og egenkapital	kr	67 537 056	64 336 939	73 785 557

Appendiks

B.2. Kap 4

B.2.1. Indre likevekts løsning (Kap. 4.2)

Utrekninger for indre likevekt:

$$\dot{X}_2 = G_2(X_2, X_3) = a_2X_2 - b_2X_2^2 + d_2X_2X_3 \quad (1)$$

$$\dot{X}_3 = G_3(X_2, X_3) = a_3X_3 - b_3X_3^2 - d_3X_2X_3 \quad (2)$$

I likevekt får vi:

$$b_2X_2^2 - a_2X_2 = d_2X_2X_3 \quad (3)$$

$$a_3X_3 - b_3X_3^2 = d_3X_2X_3 \quad (4)$$

Vi har her to likninger med to ukjente. Vi løser for X_2 og X_3 :

Fra (4) får vi:

$$d_3X_2 = a_3 - b_3X_3 \quad (5)$$

$$X_2 = \frac{a_3}{d_3} - \frac{b_3X_3}{d_3} \quad (6)$$

Setter dette inn i (3):

$$a_2 \left(\frac{a_3}{d_3} - \frac{b_3X_3}{d_3} \right) - b_2 \left(\frac{a_3}{d_3} - \frac{b_3X_3}{d_3} \right)^2 + d_2X_3 \left(\frac{a_3}{d_3} - \frac{b_3X_3}{d_3} \right) = 0 \quad (7)$$

$$a_2 + d_2X_3 = b_2 \frac{a_3}{d_3} - \frac{b_2b_3X_3}{d_3} \quad (8)$$

$$\frac{d_2 d_3 X_3 + b_2 b_3 X_3}{d_3} = \frac{b_2 a_3 - a_2 d_3}{d_3} \quad (9)$$

$$X_3(b_2 b_3 + d_2 d_3) = a_3 b_2 - a_2 d_3 \quad (10)$$

$$\tilde{X}_3 = -\frac{d_3}{b_2 b_3 + d_2 d_3} \left(a_2 - \frac{a_3 b_2}{d_3} \right) \quad (11)$$

Så gjør vi det samme for \tilde{X}_2 :

Fra (3) får vi:

$$d_2X_3 = b_2X_2 - a_2 \quad (12)$$

$$X_3 = \frac{b_2X_2}{d_2} - \frac{a_2}{d_2} \quad (13)$$

Setter dette inn i (4):

$$a_3 \left(\frac{b_2X_2}{d_2} - \frac{a_2}{d_2} \right) - b_3 \left(\frac{b_2X_2}{d_2} - \frac{a_2}{d_2} \right)^2 - d_3X_2 \left(\frac{b_2X_2}{d_2} - \frac{a_2}{d_2} \right) = 0 \quad (14)$$

$$a_3 = \frac{b_3 b_2 X_2}{d_2} - \frac{b_3 a_2}{d_2} + d_3 X_2 \quad (15)$$

$$\frac{d_2 d_3 X_2 + b_3 b_2 X_2}{d_2} = \frac{d_2 a_3 + b_3 a_2}{d_2} \quad (16)$$

Appendiks

$$X_2(b_2b_3 + d_2d_3) = a_2b_3 + a_3d_2 \quad (17)$$

$$\tilde{X}_2 = \frac{b_3}{b_2b_3 + d_2d_3} \left(a_2 + \frac{a_3d_2}{b_3} \right) \quad (18)$$

B.2.2. Stabilitet (Kap. 4.2)

Utregninger for stabil likevekt når det ikke er noen indre likevekts løsning:

Lineariseringen av det dynamiske systemet til

$$\dot{X}_2 = a_2X_2 - b_2X_2^2 + d_2X_2X_3 \quad (1)$$

og

$$\dot{X}_3 = a_3X_3 - b_3X_3^2 - d_3X_2X_3 \quad (2)$$

rundt en likevekt gir den følgende Jacobi-matrisen:

$$\tilde{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \dot{X}_2}{\partial X_2} & \frac{\partial \dot{X}_2}{\partial X_3} \\ \frac{\partial \dot{X}_3}{\partial X_2} & \frac{\partial \dot{X}_3}{\partial X_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_2 - 2b_2\tilde{X}_2 + d_2\tilde{X}_3 & d_2\tilde{X}_2 \\ -d_3\tilde{X}_3 & a_3 - 2b_3\tilde{X}_3 - d_3\tilde{X}_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Vi ser fra dette at likevekt 1 og 2 i oppgaven er ustabile. Egenverdiene til disse likevektsløsningene er henholdsvis:

$$a_2 > 0, a_3 > 0 \text{ og } a_2 + \frac{a_3d_2}{b_3} > 0, -a_3 < 0. \quad (4)$$

For å ha en asymptotisk stabil likevekt må determinanten til matrisen være positiv og trasen negativ.

Formel for determinant:

$$\tilde{J} = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \Rightarrow \det \tilde{J} = ab - cb \quad (5)$$

Formel for trasen:

$$\tilde{J} = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \Rightarrow \text{tr} \tilde{J} = a + d \quad (6)$$

For likevekts løsning 3 er egenverdiene:

$$-a_2 < 0, a_3 - \frac{a_2d_3}{b_2}. \quad (7)$$

Likevekt 3 er asymptotisk stabil hvis:

$$a_3 - \frac{a_2d_3}{b_2} < 0 \iff \frac{a_2}{b_2} > \frac{a_3}{d_3}. \quad (8)$$

Vi ser at denne betingelsen er motsatt av sameksistens betingelsen vi antok i oppgaven, $\frac{a_2}{b_2} < \frac{a_3}{d_3}$. (9)

Appendiks

Utregninger for stabil likevekt når det er en indre likevekts løsning:

For likevekt 4:

$$\det \tilde{J} = (b_2 b_3 + d_2 d_3) \tilde{X}_2 \tilde{X}_3 > 0 \quad (10)$$

$$\text{tr} \tilde{J} = -b_2 \tilde{X}_1 - b_3 \tilde{X}_3 < 0 \quad (11)$$

Den indre likevektsløsningen er asymptotisk stabil. Trasen er mindre enn 0 og determinanten er større enn 0.

Beregninger av determinanten og trasen i likevekt 4:

I likevekt 4 har vi antatt at $a_2 = 0$. Jacobi-matrisen blir da:

$$\tilde{J} = \begin{bmatrix} -2b_2 \tilde{X}_2 + d_2 \tilde{X}_3 & d_2 \tilde{X}_2 \\ -d_3 \tilde{X}_3 & a_3 - 2b_3 \tilde{X}_3 - d_3 \tilde{X}_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Når $a_2 = 0$ blir:

$$\tilde{X}_2 = \frac{a_3 d_2}{b_2 b_3 + d_2 d_3} \text{ og } \tilde{X}_3 = \frac{a_3 b_2}{b_2 b_3 + d_2 d_3} \quad (13)$$

Vi definerer leddet

$$(b_2 b_3 + d_1 d_3) = z \quad (14)$$

og setter \tilde{X}_2 og \tilde{X}_3 inn i Jacobi-matrisen:

$$\tilde{J} = \begin{bmatrix} -\frac{2b_2 a_3 d_2}{z} + \frac{d_2 a_3 b_2}{z} & \frac{d_2 a_3 d_2}{z} \\ -\frac{d_3 a_3 b_2}{z} & a_3 - \frac{2b_3 a_3 b_2}{z} - \frac{d_3 a_3 d_2}{z} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Determinanten blir da:

$$\det(\tilde{J}) = \left(\left(\frac{b_2 a_3 d_2}{z} - \frac{2b_2 a_3 d_2}{z} \right) \left(a_3 - \frac{2b_3 a_3 b_2}{z} - \frac{d_3 a_3 d_2}{z} \right) \right) \quad (16)$$

$$- \left(\left(-\frac{d_3 a_3 b_2}{z} \right) \left(\frac{d_2 a_3 d_2}{z} \right) \right)$$

$$\det(\tilde{J}) = -\frac{a_3 b_2 d_2}{z} \left(a_3 - \frac{2b_2 b_3 a_3}{z} - \frac{a_3 d_2 d_3}{z} \right) + \frac{d_2^2 d_3 a_3^2 + b_2}{z} \quad (17)$$

$$\det(\tilde{J}) = -\frac{a_3^2 b_2 d_2}{z} + \frac{2a_3^2 b_2^2 b_3 d_2}{z^2} + \frac{a_3^2 b_2 d_2^2 d_3}{z^2} + \frac{a_3^2 b_2 d_2^2 d_3}{z^2} \quad (18)$$

$$\det(\tilde{J}) = -\frac{a_3^2 b_2 d_2 z}{z^2} + \frac{2a_3^2 b_2^2 b_3 d_2}{z^2} + \frac{a_3^2 b_2 d_2^2 d_3}{z^2} + \frac{a_3^2 b_2 d_2^2 d_3}{z^2} \quad (19)$$

$$\det(\tilde{J}) = -\frac{a_3^2 b_2 d_2 z}{z^2} + \frac{2a_3^2 b_2^2 b_3 d_2}{z^2} + \frac{2a_3^2 b_2 d_2 d_3}{z^2} \quad (20)$$

Appendiks

Setter inn for z oppe:

$$\det(\tilde{J}) = -\frac{a_3^2 b_2 d_2 (b_2 b_3 + d_2 d_3)}{z^2} + \frac{2a_3^2 b_2^2 b_3 d_2}{z^2} + \frac{2a_3^2 b_2 d_2 d_3}{z^2} \quad (21)$$

$$\det(\tilde{J}) = -\frac{a_3^2 b_2^2 b_3 d_2}{z^2} - \frac{a_3^2 b_2 d_2^2 d_3}{z^2} + \frac{2a_3^2 b_2^2 b_3 d_2}{z^2} + \frac{2a_3^2 b_2 d_2^2 d_3}{z^2} \quad (22)$$

$$\det(\tilde{J}) = a_3^2 b_2^2 b_3 d_2 + a_3^2 b_2 d_2^2 d_3 \quad (23)$$

$$\det(\tilde{J}) = b_2 b_3 \tilde{X}_2 \tilde{X}_3 + d_2 d_3 \tilde{X}_2 \tilde{X}_3 \quad (24)$$

$$\det(\tilde{J}) = (b_2 b_3 + d_2 d_3) \tilde{X}_2 \tilde{X}_3 \quad (25)$$

Trasen:

$$\text{tr}(\tilde{J}) = \left(\left(\frac{b_2 a_3 d_2}{z} - \frac{2b_2 a_3 d_2}{z} \right) + \left(a_3 - \frac{2b_3 a_3 b_2}{z} - \frac{d_3 a_3 d_2}{z} \right) \right) \quad (26)$$

$$\text{tr}(\tilde{J}) = \left(\left(\frac{b_2 a_3 d_2}{z} - \frac{2b_2 a_3 d_2}{z} \right) + \left(\frac{a_3 z}{z} - \frac{2b_3 a_3 b_2}{z} - \frac{d_3 a_3 d_2}{z} \right) \right) \quad (27)$$

$$\text{tr}(\tilde{J}) = \frac{-2b_2 a_3 d_2 + d_2 a_3 b_2 + a_3 b_2 b_3 + a_3 d_2 d_3 - 2b_3 a_3 b_2 - d_3 a_3 b_2}{z} \quad (28)$$

$$\text{tr}(\tilde{J}) = -b_2 \frac{a_3 d_2}{z} - b_3 \frac{a_3 b_2}{z} \quad (29)$$

$$\text{tr}(\tilde{J}) = -b_2 \tilde{X}_2 - b_3 \tilde{X} \quad (30)$$

B.2.3. Interaksjon og vekst (Kap. 4.2)

Finner maksimal bærekapasitet for rovfisken:

Utnytter artenes vekstfunksjoner (uten høsting):

$$d_2 X_2 X_3 - b_2 X_2^2 = 0 \quad (1)$$

$$d_2 X_3 = b_2 X_2 \quad (2)$$

Maksimal bærekapasitet er oppnådd for rovfisken når:

$$X_2 = \frac{d_2 X_3}{b_2} \quad (3)$$

Tilsvarende for den pelagiske arten:

$$a_3 X_3 - b_3 X_3^2 - d_3 X_2 X_3 = 0 \quad (4)$$

$$a_3 - b_3 X_3 - d_3 X_2 = 0 \quad (5)$$

$$X_3 = \frac{a_3 - d_3 X_2}{b_3} \quad (6)$$

Setter så inn for X_3 i løsning til X_2

(7)

Appendiks

$$X_2 = \frac{d_2 a_3 - d_2 d_3 X_2}{b_2 b_3}$$

$$b_2 b_3 X_2 + d_2 d_3 X_2 = d_2 a_3 \quad (8)$$

Vi finner maksimal bærekapasitet for rovfiskbestand som:

$$X_2 = \frac{d_2 a_3}{b_2 b_3 + d_2 d_3} \quad (9)$$

Maksimal bærekapasitet for pelagisk fisk i et tilfelle uten rovfisk:

$$X_3 = \frac{a_3}{b_3} \quad (10)$$

Med rovfisk:

$$X_3 = \frac{a_3 - d_3 \frac{d_2 X_3}{b_2}}{b_3} \quad (11)$$

$$b_2 b_3 X_3 = a_3 b_2 - d_2 d_3 X_3 \quad (12)$$

$$X_3 = \frac{a_3 b_2}{b_2 b_3 + d_2 d_3} \quad (13)$$

Løsningen for rovfisk i havet (høstes med en MEY tilpasning):

Vi finner X_2, E_2 og Q_2 i MEY:

$$\dot{X}_2 = d_2 X_2 X_3 - b_2 X_2^2 - Q_2 \quad (14)$$

$$Q_2 = \theta_2 E_2 X_2 \quad (15)$$

Høsting er lik naturlig tilvekst når:

$$\dot{X}_2 = 0 \quad (16)$$

$$d_2 X_2 X_3 - b_2 X_2^2 = \theta_2 E_2 X_2 \quad (17)$$

$$d_2 X_3 - b_2 X_2 = \theta_2 E_2 \quad (18)$$

Gir løsning for X_2

$$X_2^* = \frac{d_2 X_3 - \theta_2 E_2}{b_2} \quad (19)$$

Setter inn for X_2 i høstingsfunksjonen $Q_2 = \theta_2 E_2 X_2$:

$$Q_2^* = \theta_2 E_2 \left(\frac{d_2 X_3 - \theta_2 E_2}{b_2} \right) \quad (20)$$

Formulerer profittfunksjonen:

$$\Pi_2 = P_2 Q_2 - C_2 E_2 \quad (21)$$

Setter inn for høstingen:

$$(22)$$

Appendiks

$$\Pi_2 = P_2 \underbrace{\frac{\theta_2 E_2}{b_2} (d_2 X_3 - \theta_2 E_2)}_{TR(E)} - \underbrace{C_2 E_2}_{TC(E)}$$

Benytter dette til å finne optimal innsats, E_2^{mey} :

$$\frac{d\Pi_2}{dE_2} = \frac{P_2 d_2 X_3 - P_2 \theta_2^2 2E_2}{b_2} - C_2 = 0 \quad (23)$$

$$P_2 \theta_2 d_2 X_3 - C_2 b_2 = P_2 \theta_2^2 2E_2 \quad (24)$$

$$E_2^{mey} = \frac{d_2 X_3}{2\theta_2} - \frac{C_2 b_2}{2P_2 \theta_2^2} \quad (25)$$

Finner X_2^{mey} :

$$X_2 = \frac{d_2 X_3 - \theta_2 E_2^{mey}}{b_2} \quad (26)$$

$$X_2 = \left(d_2 X_3 - \theta_2 \left(\frac{d_2 X_3}{2\theta_2} - \frac{C_2 b_2}{2P_2 \theta_2^2} \right) \right) \frac{1}{b_2} \quad (27)$$

$$X_2 = \left(d_2 X_3 - \frac{d_2 X_3}{2} + \frac{C_2 b_2}{2P_2 \theta_2} \right) \frac{1}{b_2} \quad (28)$$

$$X_2^{mey} = \frac{d_2 X_3}{2b_2} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2} = \frac{1}{2b_2} \left(d_2 X_3 + \frac{C_2 b_2}{P_2 \theta_2} \right) \quad (29)$$

$$X_2^{mey} = \frac{d_2 X_3}{2b_2} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2} \quad (30)$$

Vi finner Q_2^{mey} , ved å sette inn for E_2^{mey} og X_2^{mey} :

$$Q_2^{mey} = \theta_2 \left(\frac{d_2 X_3}{2\theta_2} - \frac{C_2 b_2}{2P_2 \theta_2^2} \right) \frac{1}{2b_2} \left(d_2 X_3 + \frac{C_2 b_2}{P_2 \theta_2} \right) \quad (31)$$

$$Q_2^{mey} = \left(\frac{d_2 X_3}{2} - \frac{C_2 b_2}{2P_2 \theta_2} \right) \left(\frac{d_2 X_3}{2b_2} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2} \right) \quad (32)$$

$$Q_2^{mey} = \frac{1}{4} \left(\frac{d_2^2 X_3^2}{b_2} + \frac{d_2 X_3 C_2}{P_2 \theta_2} - \frac{C_2 b_2 d_2 X_3}{P_2 \theta_2 b_2} - \frac{C_2^2 b_2}{P_2^2 \theta_2^2} \right) \quad (33)$$

$$Q_2^{mey} = \frac{1}{4} \left(d_2 X_3 \left(\frac{d_2 X_3}{b_2} + \frac{C_2}{P_2 \theta_2} \right) - \frac{C_2}{P_2 \theta_2} \left(d_2 X_3 + \frac{C_2 b_2}{P_2 \theta_2} \right) \right) \quad (34)$$

Løsningen for den pelagiske fiskearten, høstes under en open access tilpasning:

Finner X_3^∞ :

$$\Pi_3 = P_3 Q_3 - C_3 E_3 = 0 \quad (35)$$

Appendiks

$$\text{Hvor } Q_3 = \theta_3 E_3 X_3$$

$$\Pi_3 = P_3 \theta_3 E_3 X_3 - C_3 E_3 = 0 \quad (36)$$

Tilsvarende løsning for X_3 som for X_2 :

$$X_3^\infty = \frac{C_3}{P_3 \theta_3} \quad (37)$$

Finner så E_3^∞ , fra likevekten:

$$\dot{X}_3 = a_3 X_3 - b_3 X_3^2 - d_3 X_2 X_3 - Q_3(X_3) = 0 \quad (38)$$

$$a_3 - d_3 X_2 - \theta_3 E_3 = b_3 X_3 \quad (39)$$

$$X_3 = \frac{a_3 - d_3 X_2 - \theta_3 E_3}{b_3} \quad (40)$$

Setter dette inn i profittfunksjonen for pelagisk fisk:

$$\Pi_3 = P_3 \theta_3 E_3 \left(\frac{a_3 - d_3 X_2 - \theta_3 E_3}{b_3} \right) - C_3 E_3 = 0 \quad (41)$$

$$P_3 \theta_3 a_3 - P_3 \theta_3 d_3 X_2 - C_3 b_3 = P_3 \theta_3^2 E_3 \quad (42)$$

Løser for E_3^∞ :

$$E_3^\infty = \frac{a_3}{\theta_3} - \frac{d_3 X_2}{\theta_3} - \frac{C_3 b_3}{P_3 \theta_3^2} \quad (43)$$

Viser så løsningen for X_3^∞ :

$$X_3 = \frac{a_3 - d_3 X_2 - \theta_3 E_3^\infty}{b_3} \quad (44)$$

$$X_3 = \frac{a_3 - d_3 X_2 - \theta_3 \left(\frac{a_3}{\theta_3} - \frac{d_3 X_2}{\theta_3} - \frac{C_3 b_3}{P_3 \theta_3^2} \right)}{b_3} \quad (45)$$

$$X_3 = \frac{1}{b_3} \left[a_3 - d_3 X_2 - \theta_3 \left(\frac{a_3}{\theta_3} - \frac{d_3 X_2}{\theta_3} - \frac{C_3 b_3}{P_3 \theta_3^2} \right) \right] \quad (46)$$

$$X_3^\infty = \frac{C_3}{P_3 \theta_3} \quad (47)$$

Finner vi løsningen for Q_3^∞ :

$$Q_3^\infty = \theta_3 E_3^\infty X_3^\infty \quad (48)$$

Setter inn for E_3^∞ og X_3^∞ :

$$Q_3^\infty = \theta_3 \left(\frac{a_3}{\theta_3} - \frac{d_3 X_2}{\theta_3} - \frac{C_3 b_3}{P_3 \theta_3^2} \right) \left(\frac{C_3}{P_3 \theta_3} \right) \quad (49)$$

$$Q_3^\infty = \left(a_3 - d_3 X_2 - \frac{C_3 b_3}{P_3 \theta_3} \right) \left(\frac{C_3}{P_3 \theta_3} \right) \quad (50)$$

Appendiks

$$Q_3^\infty = \frac{C_3 a_3}{P_3 \theta_3} - \frac{d_3 X_2 C_3}{P_3 \theta_3} - \frac{C_3^2 b_3}{P_3^2 \theta_3^2} \quad (51)$$

Kan nå sette dette inn i løsningene for Q_2^{mey} , E_2^{mey} og X_2^{mey} :

$$X_2^{mey} = \frac{d_2}{2b_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2} \quad (52)$$

$$E_2^{mey} = \frac{d_2}{2\theta_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} - \frac{C_2 b_2}{2P_2 \theta_2^2} \quad (53)$$

$$Q_2^{mey} = \frac{1}{4} \left(\frac{d_2^2}{b_2} \left(\frac{C_3}{P_3 \theta_3} \right)^2 + \frac{d_2 C_2}{P_2 \theta_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} - \frac{C_2 b_2}{P_2 \theta_2 b_2} \frac{d_2}{P_3 \theta_3} - \frac{C_2^2 b_2}{P_2^2 \theta_2^2} \right) \quad (54)$$

Finder tilsvarende likevektstløsning for den pelagiske fisken:

$$E_3^\infty = \frac{a_3}{\theta_3} - \frac{d_3}{\theta_3} \left(\frac{d_2}{2b_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2} \right) - \frac{C_3 b_3}{P_3 \theta_3^2} \quad (55)$$

$$Q_3^\infty = \frac{C_3 a_3}{P_3 \theta_3} - \frac{d_3 C_3}{P_3 \theta_3} \left(\frac{d_2}{2b_2} \frac{C_3}{P_3 \theta_3} + \frac{C_2}{2P_2 \theta_2} \right) - \frac{C_3^2 b_3}{P_3^2 \theta_3^2} \quad (56)$$

Vi finner pris i MSY:

Vi vet at høstingen er på sitt maksimale i dette punktet slik tilpasningen kan

finnes gjennom derivasjon av:

$$Q_3 = \frac{C_3 a_3}{P_3 \theta_3} - \frac{b_3 C_3^2}{P_3^2 \theta_3^2} - \frac{d_3 X_2 C_3}{P_3 \theta_3} \quad (57)$$

$$\frac{dQ_3}{dP_3} = -\frac{C_3 a_3}{P_3^2 \theta_3} + \frac{2b_3 C_3^2}{P_3^3 \theta_3^2} + \frac{d_3 X_2 C_3}{P_3^2 \theta_3} = 0 \quad (58)$$

Vi forenkler uttrykket:

$$\frac{dQ_3}{dP_3} = \frac{C_3}{P_3^2 \theta_3} \left(-a_3 + \frac{2b_3 C_3}{P_3 \theta_3} + d_3 X_2 \right) = 0 \quad (59)$$

Vi har at

$$\frac{dQ_3}{dP_3} = 0 \text{ når } \left(-a_3 + \frac{2b_3 C_3}{P_3 \theta_3} + d_3 X_2 \right) = 0 \quad (60)$$

$$-a_3 + \frac{2b_3 C_3}{P_3 \theta_3} + d_3 X_2 = 0 \quad (61)$$

$$\frac{2b_3 C_3}{\theta_3} = P_3 (a_3 - d_3 X_2) \quad (62)$$

$$P_3^{msy} = \frac{2b_3 c_3}{\theta_3 (a_3 - d_3 X_2)} \quad (63)$$

$$P_3 > P_3^{msy} \rightarrow Q_3 \downarrow \quad (64)$$

Appendiks

B.2.4. Nye likevekter (Kap. 4.3)

$$\Pi_3 = P_3\theta_3 E_3 X_3 - C_3 E_3 = 0 \quad (1)$$

$$X_3 = \frac{C_3}{P_3\theta_3} \quad (2)$$

Høsting er lik naturlig tilvekst når:

$$Q_3 = a_3 X_3 - b_3 X_3^2 - d_3 X_2 X_3 \quad (3)$$

$$Q_3 = X_3(a_3 - b_3 X_3 - d_3 X_2) \quad (4)$$

Setter inn for X_3 :

$$Q_3 = \frac{C_3}{P_3\theta_3} \left(a_3 - \frac{b_3 C_3}{P_3\theta_3} - d_3 X_2 \right) \quad (5)$$

Vi vet at

$$Q_3 = 0 \text{ når } \left(a_3 - \frac{b_3 C_3}{P_3\theta_3} - d_3 X_2 \right) = 0 \quad (6)$$

Vi finner den P_3 som gir $Q_3 = 0$ (7)

$$a_3 - \frac{b_3 C_3}{P_3\theta_3} - d_3 X_2 = 0 \quad (8)$$

$$P_3(a_3 - d_3 X_2) = \frac{b_3 C_3}{\theta_3} \quad (9)$$

$$P_3 = \frac{b_3 C_3}{\theta_3(a_3 - d_3 X_2)} \quad (10)$$

B.3. Kap 5

B.3.1. Pelagisk fisk i oljeproduksjonen (Kap. 5.1)

Vi utnytter funksjonen (4.4.6) og gjør den om slik at vi kan finne den pelagiske mengden nødvendig for produksjonen av fiskeolje.

Forenkler uttrykket for å slippe og skille mellom fisk og planter:

$$X_1 = (F\hat{r}_{tot})\mu - M_1(\hat{X}_1) \quad (11)$$

$$\frac{X_1 + M_1(\hat{X}_1)}{\mu} = F\hat{r}_{tot} \quad (12)$$

Der $F\hat{r}_{tot}$ viser til det totale fôrforbruket.

Setter inn for $M_1(\hat{X}_1)$:

$$\frac{X_1 + M\hat{X}_1}{\mu} = F\hat{r}_{tot} \quad (13)$$

Der:

Appendiks

$$\hat{X}_1 = X_1 + M\hat{X}_1 \quad (14)$$

$$X_1 = (1 - M)\hat{X}_1 \quad (15)$$

$$\frac{X_1}{(1 - M)} = \hat{X}_1 \quad (16)$$

Slik at (13) kan skrives som: (17)

$$\frac{X_1}{\mu(1 - M)} = F\hat{r}_{tot}$$

$$F\hat{r}_{tot} = \frac{O_{tot}}{OA} \quad (18)$$

Der O_{tot} er det totale fiskeoljeforbruket til næringen, og OA viser til andelen olje i fôret.

$$O_{tot} = FISK_{tot} * FI \quad (19)$$

Den totale oljemengden er avhengig av den totale mengden fisk benyttet og fettinnholdet i fisken.

$$\frac{X_1}{\mu(1 - M)} = \frac{FISK_{tot} * FI}{OA} \quad (20)$$

$$\frac{X_1}{\mu(1 - M)} \frac{OA}{FI} = FISK_{tot} \quad (21)$$

Finner ut hvor mye som benyttes av den pelagiske fisken:

$$FISK_{tot} = PE + ROV \quad (22)$$

Den ville rovfisken inngår kun i avkappet og avkappet utgjør 44 % av det totale fiskematerialet i fôrproduksjon. I avkappet stammer 15 % fra ikke-pelagiske arter.

$$ROV = 0,44 * 0,15 \quad (23)$$

Slik at $ROV=6,6\%$ gir den totale mengden ikke-pelagiske fiskearter av det totale fiskematerialet benyttet i produksjonen.

$$FISK_{tot} = 93,4\%PE + 6,6\%ROV \quad (24)$$

$$\frac{X_1}{\mu(1 - M)} \frac{OA}{FI} = 93,4\%PE + 6,6\%ROV \quad (25)$$

$$\frac{X_1}{\mu(1 - M)} \frac{OA}{FI} * (1 - 0,066) = PE \quad (26)$$