



Optimering og analyse av rotasjonsproblemet i oppdrettsbransjen

Effekten av en ny produksjonsregulering

av

Magnus Forsnes Krogstad & Christoffer Bugge

Veileder: Linda Nøstbakken

Selvstendig arbeid, Master i økonomi og administrasjon, Økonomisk analyse

NORGES HANDELSHØYSKOLE

Dette selvstendige arbeidet er gjennomført som ledd i masterstudiet i økonomi- og administrasjon ved Norges Handelshøyskole og godkjent som sådan. Godkjenningen innebærer ikke at Høyskolen eller sensorer inntår for de metoder som er anvendt, resultater som er fremkommet eller konklusjoner som er trukket i arbeidet.

Sammendrag

Oppdrettsnæringen har gjennom de siste tiårene opplevd en kraftig vekst. Produksjonsplanlegging har blitt stadig viktigere for å lykkes i næringen. Rotasjonsproblemet i bransjen har blitt studert siden tidlig på 1980-tallet. I denne utredningen vil dette problemet bli analysert i lys av produksjonsbegrensningssystemet maksimalt tillatt biomasse (MTB). Fiskeri- og Kystdepartementet sendte i oktober et forslag om videreutvikling av dagens MTB-system til høring i Stortinget. Reguleringsendringen som blir lagt frem vil påvirke optimal produksjonsplanlegging i næringen. Vi vil i denne utredningen diskutere hvordan en oppdretter kan tilpasse sin produksjonsplan optimalt under nåværende reguleringsssystem. Videre vil vi analysere effektene av en eventuell reguleringsendring.

Utredningen inneholder en kort innføring i produksjonsprosessen av oppdrettslaks. Videre vil nåværende reguleringsystem og den foreslåtte endringen bli beskrevet, før rotasjonsproblemet blir introdusert. Ved hjelp av en analytisk og en numerisk modell vil vi analysere rotasjonsproblemet i norsk lakseoppdrett, og optimal tilpasning under de to reguleringsystemene vil bli presentert. Effekter av en eventuell reguleringsendring vil så bli drøftet.

Resultatene av analysen gjort i denne utredningen viser at en reguleringsendring kan se ut til å virke mot sitt formål. Oppdretterne vil under det nye reguleringsregimet ha større mulighet til å utnytte laksens gode tilvekst i tredje kvartal. Konsekvensene vil trolig være et større tilbud av laks i andre halvdel av året. Oppdretterne vil også enklere kunne utnytte den nye produksjonsbegrensningen. Dette vil kunne føre til en produksjonsøkning for næringen totalt sett.

Innhold

1	Introduksjon	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Produksjonsprosessen	5
1.3	Tidligere studier	6
1.3.1	Faustmann	6
1.3.2	Etter Faustmann	7
1.4	Problemstilling	8
2	Reguleringsystemet	10
2.1	MTB-systemet	10
2.2	Rullerende MTB-system	12
3	Introduksjon til modellen	14
3.1	Rotasjonsproblemet	14
3.2	Antall	15
3.3	Vekstfunksjonen	16
3.4	Stående Biomasse	17
3.5	Verdien av et utsett	18
3.6	Førkostnad	19
3.7	Smoltkostnad	20
3.8	Slaktekostnad	20
3.9	Beslutningsvariabler	20
3.10	Verdien av flere utsett	21
3.11	Biomassebegrensninger	23
3.12	Optimeringsproblemene	26
3.13	Funksjonenes spesifikasjoner	26
4	Analytisk løsning	28
4.1	Nåværende MTB	28

4.2	Rullerende MTB	31
4.3	Oppsummering av analytisk løsning	34
5	Numerisk løsning	35
5.1	Den numeriske modellen	35
5.1.1	Modellkalibrering og inputdata	35
5.1.2	Output	36
5.1.3	Funksjonalitet	36
5.2	Numeriske resultater	38
5.2.1	Nåværende MTB	38
5.2.2	Rullerende MTB	41
5.2.3	Modellens begrensninger	43
5.2.4	Rullerende MTB med vår- og høstutsett	44
5.2.5	Oppsummering numeriske resultater	46
6	Reguleringens implikasjoner	47
6.1	Den nye MTB-grensen	47
6.2	Positiv effekt på oppdretterens likviditet	49
6.3	Verdien av en konsesjon	49
6.4	Miljøkonsekvenser	49
7	Sensitivitetsanalyse	51
7.1	Temperatur	53
7.2	Anleggsspesifikke forhold	53
7.3	Tap av fisk	54
7.4	Smoltkostnad	54
7.5	Fôrkostnad	55
7.6	Pris	56
7.7	Oppsummering av sensitivitetsanalysen	57
8	Konklusjon	58
A	Appendiks	60
A.1	Variabelliste	60
A.2	Derivasjon	61
A.2.1	Derivasjon 1	61
A.2.2	Derivasjon 2	62
A.2.3	Tolkning av de deriverte	64
A.3	Problemløserens spesifikasjoner	64

Kapittel 1

Introduksjon

Sjømat er Norges tredje største eksportindustri etter olje og gass, og en viktig bidragsyter til norsk økonomi. Oppdrett utgjorde i 2012 omlag 60 prosent i verdi av den samlede norske sjømateksperten (Fiskeri- og Kystdepartementet). På verdensbasis er Norge den absolutt største produsenten av oppdrettslaks. Historisk har produksjonsplanleggingen i oppdrettsnæringen i stor grad vært erfaringsbasert, dette er i ferd med å endre seg. De siste tiårene har næringen gått gjennom flere runder med konsolideringer. Med større og mer profesjonelle aktører har fokus på effektiv styring og ledelse blitt mer sentralt. Det blir brukt stadig mer midler på effektivisering av produksjonen. Dette har gjort at aktørene raskere finner optimal tilpasning etter regulatoriske endringer.

1.1 Bakgrunn

Aktørene i oppdrettsnæringen har flere reguleringer å forholde seg til. Den viktigste kalles MTB, maksimalt tillatt biomasse. Dette er en produksjonsregulering knyttet til hvor mye biomasse oppdretterne har lov til å ha stående i sjøen per konsesjon. Oktober 2013 sendte Fiskeri- og kystdepartementet et forslag om videreutvikling av dagens produksjonsbegrensningssystem (MTB) til høring i Stortinget. Et forslag om en overgang til et såkalt rullerende gjennomsnittlig MTB system ble presentert med det formål ”å bidra til en mer industriell og markedsrettet produksjon i lakse- og ørretoppdrettsnæringen som er preget av store sesongmessige svingninger”. En slik endring vil få konsekvenser for produksjonsplanleggingen til oppdretterne. Vi ønsker i denne utredningen å analysere effektene på produksjonsplanleggingen av en slik endring. Før vi presenterer problemstillingen ønsker vi kort å forklare produksjonsprosessen av oppdrettslaks og presentere tidligere studier gjort på området.

1.2 Produksjonsprosessen

Produksjonsprosessen for oppdrett av laks består i hovedsak av fire deler. Avlsarbeid, settefiskproduksjon, matfiskproduksjon og levende transport og slakting. Hele prosessen tar til sammen mellom to og tre år fra klekking av øyrogn til ferdig spiseklar laks.

Det organiserte avlsarbeidet for oppdrett i Norge foregår på avlsstasjoner. Avlsmaterialet er hentet fra villaks i norske elver, i all hovedsak Antlanterhavslaks (*Salmo salar*). Tanken er at en ønsker arvematerialet fra individer som viser gode egenskaper med hensyn til viktige faktorer som tilvekst, kjønnsmodning, sykdomsresistens, filetfarge, kroppsform og fettinnhold. Det organiserte avlsarbeidet startet på 1970-tallet og det gjøres fremdeles betydelige fremskritt.

Laks er en såkalt anadrom fiskeart, fisk som i sin første del av livssyklusen lever i ferskvann mens de tilbringer sitt senere liv i saltvann. Dette betyr at settefiskproduksjonen, som består av klekking, gyting og vekst frem til smoltifisering, foregår i landbaserte ferskvannstanker. Rognen ligger til klekking i ca. 60 dager ved 8°C før den klekkes. Etter 10-16 måneder i ferskvann er laksen klar for å settes i matfiskanlegg. Siden klekking har fisken gjennomgått store forandringer, prosessen kalles smoltifisering. Disse forandringene skjer slik at laksen skal takle overgangen fra ferskvann til saltvann. Laksen kalles nå for smolt. Når smoltifiseringen har skjedd må laksen settes ut i saltvann etter kort tid, hvis ikke reverseres prosessen og den blir ikke klar for utsett igjen før om seks måneder. Smolten deles inn i to grupper avhengig av når den er klar for å gå inn i fasen for matfiskproduksjon. Utsett av 0-åringer skjer normalt i september eller oktober, dette er etter ca. 9 måneder i settefiskanlegget. 1-åringer settes ut i mai, etter å ha vært i settefiskanlegget i ca. 15 måneder. Det er altså biologiske prosesser som gjør at oppdretterne kun har tilgang til smolt i enkelte perioder i løpet av året.

Matfiskproduksjon i Norge foregår stort sett i sjøbaserte anlegg kalt merder. Smolten settes i merder når den har nådd en vekt på mellom 50 og 250 gram. Antall fisk som settes ut varierer fra 30 000 til 200 000 pr. merd, avhengig av størrelsen og utformingen av anlegget. Her føres den med fôrpellets som er en blanding av animalske og vegetabiliske stoffer. De to viktigste ingrediensene i pelletene er fiskeolje og fiskemel. Den føres til den når ønsket størrelse, dette varierer fra 2 til 6 kilogram noe som tar alt fra 12 til 22 måneder. Før fisken transporteres til slakteriet sultes den mellom 7 og 14 dager, dette avhenger av temperaturen i vannet. Den slakteklare fisken transporteres levende i brønnbåter til slakteriet. Etter transportetappen lagres fisken i merder ved slakteriet i normalt 24 timer. Grunnen til at fisken blir stående i merder utenfor slakteriet er for å få ned stressnivået til fisken. Et høyt stressnivå vil føre til redusert holdbarhet fordi fiskekjøttet har økt

bakterievekst. Dette skjer på grunn av at fisken produserer et stoff ved stress, som øker bakterieveksten. Økt bakterievekst fører også til at fisken utvikler uønsket smak og lukt. På slakteriet blir fisken bedøvet, avlivet, sløyd, vasket, sortert etter kvalitet og størrelse og lagt på is. Deretter går veien enten til foredling i Norge, til fiskebutikken eller den blir sendt med bil eller fly til over 100 land i verden.

Etter at fisken fra en lokalitet er tatt ut av merdene må hele lokaliteten brakklegges i en lengere periode, hvor lenge avhenger av strøm og bunnforhold. Dette vil normalt ta ca 2 måneder. I denne perioden undersøkes miljøforholdene blant annet ved å foreta bunnprøver. Etter brakkleggingsperioden starter prosessen på nytt.

1.3 Tidligere studier

Oppdrettsnæringen har gått gjennom flere runder med konsolideringer, og preges nå av færre og større profesjonelle aktører. Effektiv styring og ledelse er derfor sentralt for å kunne lykkes i bransjen. Spesielt fokuset på å utvikle en optimal produksjonsplan har blitt et sentralt tema. Det har av den grunn blitt gjort en rekke studier på det såkalte rotasjonsproblemet, som er knyttet til slakte- og utsettstidspunkter i oppdrettsnæringen. Denne seksjonen er en kortfattet presentasjon av tidligere studier på området.

1.3.1 Faustmann

Tidligere studier på rotasjonsproblemet i oppdrettsnæringen bygger i stor grad på arbeidet til Martin Faustmann (født 1822). Faustmanns formel har lenge vært sett på som den rette fremgangsmåten for å løse rotasjonsproblemer. Faustmann så på hvordan en kan bestemme optimal rotasjonstid innenfor skogbrukindustrien. Faustmann viser at optimal rotasjonstid t^* er gitt der marginalinntekten av å la trærne vokse en periode til er lik alternativkostnaden av investeringen som er bundet opp i trærne og tomteverdien (uavhengig om en skal fortsette å drive skogbruk eller bruke området til noe annet) (Faustmann, 1849). Faustmanns formel har klare forenklinger som gjør at den ikke er direkte anvendbar på rotasjonsproblemet i lakseoppdrett. Dette gjelder blant annet forutsetningen om at en ny rotasjon starter så snart en annen er avsluttet. En oppdretter har ikke tilgang på smolt hele året. Dette legger begrensninger på når en kan starte en ny rotasjon.

1.3.2 Etter Faustmann

Med grunnlag i teorien til Faustmann har det blitt gjort en rekke studier på utsett- og slaktetidspunkt i oppdrettsnæringen. Noen av disse fokuserer på enkelte arter som reker, laks eller ørret, mens andre er mer generelle. Karp, Sadeh, og Griffin (1986) studerte problemet med å bestemme optimal avlingstidspunkt og lageroppbyggingsnivå for oppdrett av reker. Deres bidrag til den tradisjonelle Faustmannmodellen er at den optimale løsningen ikke bare bestemmes av når rekene skal høstes, men også lageroppbyggingsnivået. Videre analyserte de verdien av at produksjonen skjedde i et kontrollert miljø (Karp et al., 1986). En svakhet ved denne modellen er at den ikke er fleksibel nok til å inkludere forskjellen i relative priser, og at den forutsetter at en ny rotasjon kan starte når som helst.

En tilnærming til problemet er at det å sette ut fisk i merdene kun er en måte å få avkastning på kapital. Målsetningen blir da å finne optimal rotasjonstid, på lik linje med å maksimere nåverdien av en investering. Dette var utgangspunktet til Trond Bjørndal. I ”*Optimal harveisting of farmed fish*” (Bjørndal, 1988) presenteres en modell som viser endringen i verdien til biomassen til fisken over tid, som en funksjon av vekst, dødelighet og prisen på fisk. I den enkle versjonen av modellen presenteres en regel for optimal slaktetid som sier at fisken må slaktes når marginalverdien til kapitalen (fisken i sjøen) er lik alternativkostnaden. Videre utvides modellen til å inkludere smolt-, fôr- og slaktekostnader. Ved hjelp av en komparativ statistisk analyse analyseres hvordan slaktetidspunktet påvirkes av endringer i kostnadsparameterne. Resultatet av å inkludere for eksempel slaktekostnad i modellen er at rotasjonstiden øker, dette skyldes muligheten til å utsette kostnaden. Modellen Bjørndal presenterer ser kun på en rotasjon. Hva som skjer etter fisken slaktes er ikke tatt hensyn til. Modellen tar heller ikke hensyn til forskjellen i relative priser eller begrensninger knyttet til utsettetidspunkt.

I årene frem til 2000-tallet ble det gjort flere studier med utgangspunktet i modellen presentert i Bjørndal (1988). Arnason (1990) inkluderer tidsplanen for fôring som en beslutningsvariabel. Studiene viser at det er en klar sammenheng mellom optimalt slaktetidspunkt og optimal fôringsplan. Heaps (1990) bruker resultatene fra Bjørndal (1988) og Arnason (1990) for å se på hvordan betingelsene knyttet til fôringsmønster påvirker optimal rotasjonstid. Videre presenterer Johan A Mistiaen og Ivar Strand en generell løsning for optimal fôringsplan og slaktetidspunkt hvor det tas hensyn til at prisen på fisken varierer med størrelsen (Mistiaen et al., 1998). Disse studiene har altså ikke som formål å se på rotasjonsproblemet, men supplerer resultatene til Bjørndal (1988).

Med utgangspunkt i studiene gjort av Faustmann videreutvikler Atle G. Guttormsen Faustmann's modell i ”*Faustmann in the Sea: Optimal Rotation in Aquaculture*” (Guttormsen, 2008) ved å trekke inn to viktige aspekter. Dette er for det første at smolten kun kan settes ut enkelte uker i året. Videre har han fokus på at sesongsvingninger i tilbud og etterspørsel fører til at de relative prisene på fisk i forskjellige størrelser varierer gjennom året. Altså, i enkelte perioder av året vil en stor fisk ha relativt høyere pris enn en liten, mens tilfelle kan være motsatt andre deler av året. Asche og Guttormsen har tidligere hevdet at vi ikke kan si noe generelt om hvilken retning slaktetidspunktet beveger seg når en tar hensyn til relative priser (Asche & Guttormsen, 2001). Dette bekrefter Guttormsen (2008).

Felles for studiene presentert ovenfor er at ingen inkluderer begrensningen knyttet til maksimalt tillatt biomasse stående i sjøen (MTB). Oppdretteren står i hovedsak ovenfor to valg, hvor lenge skal fisken stå i sjøen, og hvor mange fisk skal en sette ut. Ettersom oppdretteren til enhver tid må sørge for at biomassen i merdene ikke overstiger MTB, får vi en avveining mellom de to variablene. Dersom en ønsker å sette ut flere smolt, må en redusere tiden fisken står i sjøen for å ikke overstige MTB grensen. Motsatt kan en øke tiden fisken står i sjøen mot at en setter ut færre fisk. Hvor mye som er tillatt å ha stående i merden er avgjørende for hva som er optimal rotasjonstid. En overgang fra nåværende MTB-regime til et gjennomsnittlig MTB-system vil endre en av de sentrale begrensningene i rotasjonsproblemet. Vi vil i denne utredningen først se på rotasjonsproblemet under nåværende MTB-regime, med fokus på rotasjonstiden og antall fisk oppdretteren velger å sette ut. Videre vil vi se på hvordan disse beslutningsvariablene blir påvirket av en overgang til et gjennomsnittlig MTB-system og diskutere konsekvensene av en eventuell reguleringsendring.

1.4 Problemstilling

En enkeltaktør har begrenset mulighet til å påvirke produksjonen gjennom endring i innsatsfaktorene. De har i hovedsak muligheten til å påvirke:

- Fordeling mellom smolt satt ut på vår/høst
- Tiden fisken står i sjøen (slaktetidspunktet)
- Variasjon i utsettsvekt og utsettstidspunkt på smolten

Dette gir oppdretterne mulighet til å påvirke produksjonen gjennom produksjonsplanlegging. Den viktigste begrensningen oppdretteren må forholde seg til er MTB. Ved

å kombinere bruken av innsatsfaktorene prøver oppdretteren å utnytte MTB grensen så godt han klarer. Problemstillingen vi ønsker å undersøke kan formuleres på følgende måte: Hvordan kan oppdretterne optimalisere produksjonsplanen under nåværende MTB-regime og hvordan vil dette endre seg om det blir innført et rullerende gjennomsnittlig MTB system.

Vi vil videre diskutere effektene av å eventuelt innføre et nytt reguleringssystem. Vi ønsker å se på endringene i produksjonsmønster samt samfunnsøkonomiske og miljømessige konsekvenser. Videre ønsker vi også å ta opp spørsmålet knyttet til hvilket nivå den nye MTB grensen må ligge på for at reguleringsendringen ikke skal ha noen effekt på den totale produksjonen.

Ved hjelp av en analytisk og en numerisk modell vil svare på spørsmålene nevnt ovenfor. Før vi presenterer modellen vil vi gi en kort innføring i dagens reguleringssystem og hva et nytt reguleringssystem innebærer.

Kapittel 2

Reguleringsystemet

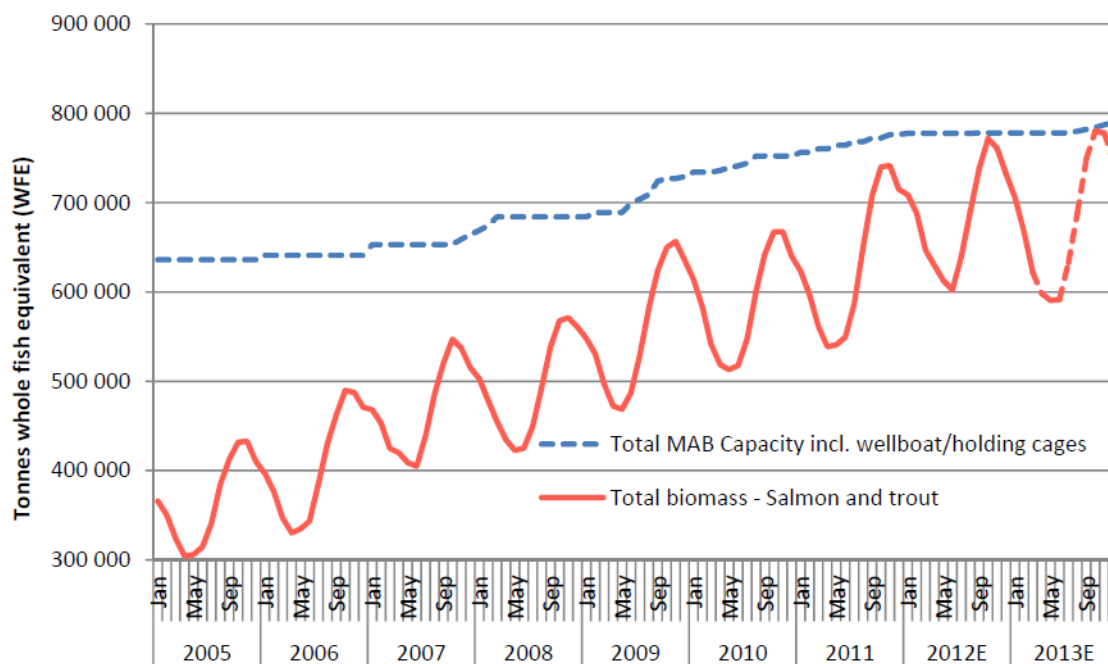
2.1 MTB-systemet

Oppdrettsnæringen er i dag blant annet regulert gjennom MTB-systemet, maksimalt tillatt biomasse. Dette er en ren biomassebegrensning som setter en øvre grense på hvor mange tonn fisk en oppdretter kan ha i sjøen til en hver tid. Denne ble innført 1. januar 2005, og erstattet den tidligere volumbegrensningen på 65 tonn fisk per 1000 kubikkmeter, en vanlig konsesjon var 12 000 kubikkmeter.

MTB-systemet fungerer slik at det til en hver tid ikke kan holdes mer enn 780 tonn fisk per konsesjon, og oppdretterne plikter å rapportere inn biomasse en gang i måneden. I Troms og Finnmark er MTB-grensen i dag 945 tonn. Dette skyldes tregere vekst på grunn av lavere sjøtemperaturer. Dersom stående biomasse skulle overskride tildelt MTB risikerer oppdretterne bøteleggelser.

I tillegg til konsesjons-MTB finnes det regler som avgrenser MTB på lokalitetsnivå. MTB på konsesjonsnivå er i utgangspunktet et virkemiddel for å begrense den totale norske produksjonen. Denne reguleringen har ingen sammenheng med miljø og fiskehelse. Derfor finnes det også noe som heter lokalitets-MTB. Med en lokalitet menes et område der en kan drive med oppdrett. Lokalitets-MTB er en regulering som begrenser hvor mye fisk en oppdretter kan ha på en lokalitet. Denne reguleringen tar ikke utgangspunktet i å være en produksjonsbegrensning, men ble utviklet med det formål å bedre miljø og fiskehelse. Videre i denne utredningen vil omtale konsesjons-MTB som MTB.

Siden dagens MTB-regulering ble innført i 2005 har oppdretterne stadig blitt flinkere til å designe produksjonsplaner som utnytter MTB-grensen bedre. Det tok oppdretterne åtte år å nå 100 prosent utnyttelse av MTB som de gjorde for første gang i midten av 2012. Det kan være mange årsaker til at de har brukt så lang tid på å klare dette. For



Figur 2.1: Nasjonal utnyttelse av MTB, [Kontali Analyse \(2013b\)](#)

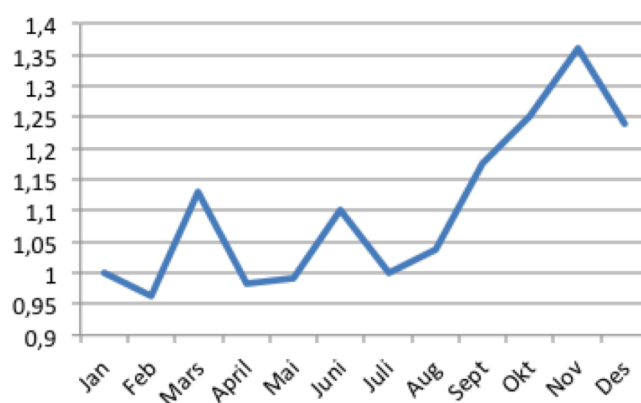
en mindre oppdretter er det tidskrevende å finne en produksjonsplan som gjør at han utnytter MTB-grensen på best mulig måte. Ved å prøve og feile har oppdretterne stadig kommet nærmere en optimal løsning. Konsolideringer i bransjen har ført til et større fokus på produksjonsplanlegging, og resultat har vært en bedre utnyttelse av MTB reguleringen.

Formålet med konsesjons- og MTB-systemet vi har i dag er i hovedsak å begrense den totale produksjonen. En produksjonsregulering har to hovedeffekter. For det første begrenser den produksjonen og for det andre endrer den produksjonsmønsteret. En endring i produksjonsmønster er en konsekvens som ikke er ønsket. Denne gjør det mer kostbart å produsere et kilo laks enn hvis reguleringen ikke hadde eksistert. Årsaken til dette er enkel: om en regulering gjør at adferden endres, avviker en fra hva som er optimalt under forutsetningen av at reguleringen ikke finnes. Når en ønsker å regulere produksjon vil en tilstrebe at effekten på adferden, i dette tilfelle produksjonsmønsteret, er så liten som mulig. Sagt på en annen måte, en ønsker å minimere kostnaden knyttet til reguleringen for næringen for å unngå å ramme næringens konkurranseevne. Innenfor økonomifaget finnes det betydelig litteratur på effekten av forskjellige typer reguleringer. Litteraturen indikerer at reguleringer som reduserer produksjonen vanligvis gir lavere reguleringskostnader enn begrensinger i bruk av forskjellige innsatsfaktorer. Dette var et av hovedargumentene for overgangen fra den tidligere volumbegrensningen, som regulerte bant annet bruken av fôr, til nåværende MTB-system, som kun regulerer produksjonen

og ikke innsatsfaktorene.

2.2 Rullerende MTB-system

Det er en rekke utfordringer knyttet til dagens MTB-system. Dette er blant annet slaktepresset som kommer på høsten. Tilveksten på høsten er best. For at aktørene skal holde seg under MTB-grensen må den gode tilveksten på høsten slaktes ut. Dette fører til at alle slakter samtidig og at mye fisk kommer ut på markedet sent på høsten. Tilsvarende vil det bli lite tilgjengelig fisk på våren. Dette skaper utfordringer blant annet for slakteriene og supermarkeder som alle ønsker jevn tilførsel av fisk hele året. Figur 2.2 illustrerer hvordan det er stor variasjon i slaktevolum per måned.



Figur 2.2: Normalisert gjennomsnittlig høstet biomasse per måned siste 6 år, [FKD \(2012\)](#)

4. desember 2012 la en arbeidsgruppe nedsatt av Fiskeri- og Kystdepartementet frem en rapport om videreutvikling av MTB-systemet ([FKD, 2012](#)). Arbeidsgruppen skulle komme med forslag på hvordan dagens MTB-system kunne videreutvikles og bidra til en mer markedsrettet produksjon i oppdrettsnæringen. Arbeidsgruppen vurderte to alternativer til dagens MTB-system. Det første forslaget som ble vurdert var et system hvor MTB-grensen varierer gjennom året. Dette ble kalt markedstilpasset MTB. Det andre alternativet var et system der MTB er regnet ut som et rullerende gjennomsnitt over 12 måneder. Dette betyr at neste måneds MTB er en funksjon av biomassen oppdretteren har hatt stående i sjøen de foregående elleve månedene.

Arbeidsgruppen anbefalte regjeringen å gå over til et system med rullerende gjennomsnitts-MTB. Argumentene for innføringen av et slikt system var at det gir oppdretterne større fleksibilitet. De mente at fleksibiliteten kan utnyttes ved at oppdretterne selv velger når de skal slakte. Oppdretterne kan da velge å slakte mye på høsten, slakte jevnt utover

året, eller å slakte når markedets etterspørsel er stor. Et annet argument som taler for denne reguleringsendringen er at bedrifter med videreforedling, som trenger jevn tilførsel av råstoff, vil ha lettere for å legge opp produksjonen slik at den er gunstig for hele virksomheten.

På oppdrag fra Fiskeri- og Kystdepartementet utarbeidet Kontali Analyse i samarbeid med SINTEF Fiskeri og Havbruk en tilleggsutredning som ble lagt frem i august 2013 ([Kontali Analyse, 2013a](#)). Denne hadde som mål å gi departementet et faglig grunnlag for å vurdere effektene av en eventuell overgang til et system med rullerende gjennomsnitts-MTB. Tilleggsutredningen hadde tre fokusområder. For det første skulle de vurdere hvilket nivå rullerende gjennomsnitts-MTB må være på for at reguleringsendringen ikke medfører en produksjonsøkning. Videre skulle de se på samfunnsøkonomiske og miljømessige konsekvenser av en reguleringsendring. Hovedkonklusjonen fra tilleggsutredningen kan oppsummeres slik:

1. Rullerende gjennomsnittlig MTB gir marginal økning i potensiell produksjon (mindre enn 5 prosent) sammenlignet med dagens regime.
2. Rullerende gjennomsnittlig MTB gir økt fleksibilitet for den enkelte bedrift med hensyn til planlegging av slaktevekt, slaktetidspunkt, m.m.
3. Rullerende gjennomsnittlig MTB gir marginale samfunnsøkonomiske konsekvenser og miljøeffekter.

I oktober 2013 sendte Fiskeri- og Kystdepartementet et forslag om videreutvikling av dagens produksjonsbegrensningssystem (MTB) til høring i Stortinget [FKD \(2013\)](#). Departementet forslag gikk ut på å gjøre dagens MTB-system mer fleksibelt ved å innføre et rullerende gjennomsnittssystem. Dagens krav er at det ikke på noe tidspunkt er lov til å overstige tildelt biomasse i sjøen. Departementets forslag var å endre kravet til at gjennomsnittlig stående biomasse til enhver tid den siste 12-månedersperioden ikke på noe tidspunkt kan overstige den tildelte biomassen som følger av tillatelsen. Forslaget til departementet bygger på arbeidet gjort av arbeidsgruppen som ble lagt frem i desember 2012 og tilleggsutredningen fra Kontali Analyse og SINTEF Fiskeri og Havbruk.

Kapittel 3

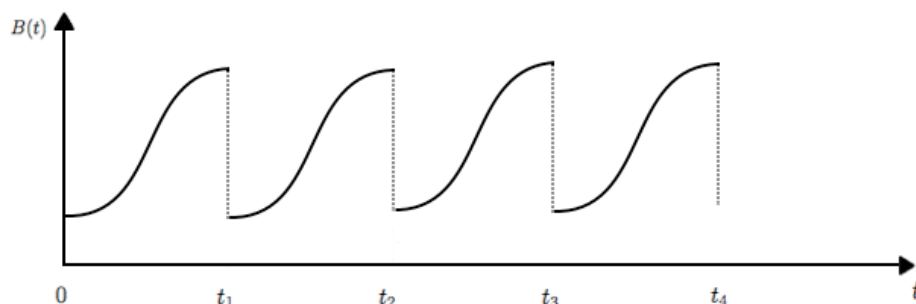
Introduksjon til modellen

Produksjonsprosessen som tidligere er beskrevet vil i dette avsnittet bli beskrevet mer formelt. Vi vil starte med å ta for oss biomasseutviklingen til fisken, hvordan den påvirkes av antall fisk og vekten til fisken. Vi vil så beskrive de viktigste kostnadene, som er knyttet til føring, smolt og produksjon. Videre presenteres de ulike begrensningene i forhold til biomassen, før vi setter opp selve optimeringsproblemet.

3.1 Rotasjonsproblemet

Produksjonsplanleggingen i oppdrettsbransjen kan ses på som et rotasjonsproblem. Når oppdretteren slakter fisken som står i merdene frigjør han kapasitet. Dette gir oppdrettern mulighet til å sette ut ny smolt. Fisken vil så vokse til oppdretteren igjen velger å slakte den. Når vi skal vurdere hvordan oppdretteren bør legge opp produksjonen holder det ikke bare å se på et utsett. Dette fordi hvor lenge det første utsette står i sjøen, påvirker neste utsett. Problemet kan illustreres som en serie av investeringer, altså er serie med forskjellige utsett. Når oppdretteren setter ut smolt i sjøen er dette det samme som å binde opp kapital. Kapitalen, altså fisken som står i sjøen, vil vokse med tiden og kan realiseres når oppdretteren velger å ta den ut, det vil si slakte fisken. Denne prosessen vil gjenta seg ettersom slakting gir oppdretteren mulighet til å sette ut ny smolt. Forutsetter vi at produksjonskapasiteten er konstant i fremtiden vil det være en serie av identiske utsett. Vi kan videre forutsette at alle økonomiske og biologiske parametere er konstante over tid, noe som gjør at det optimale slaktetidspunktet og antall smolt vi setter ut vil være det samme for hvert utsett. I virkeligheten vil det være usikkerhet knyttet til flere av disse parameterne. parameterne er valgt for å beskrive dagens virkelighet best mulig. Endrer omgivelsene seg må en oppdatere disse parameterne. Ved å gjennomføre en sensitivitetsanalyse vil effektene på resultatet av slike endringer blir fanget opp. Figure 3.1 illustrerer rotasjonsproblemet. Etterhvert som t øker vil stående biomasse i sjøen øke

frem til tidspunktet hvor en slakter fisken. Etter slakting starter prosessen på nytt.



Figur 3.1: Rotasjonsproblemet

Det er verdt å merke seg at oppdretteren ikke nødvendigvis kan sette ut ny smolt rett etter slakting. For det første må anlegget brakklegges, dessuten er tilgangen til smolt begrenset (se kapittel 1.2). Oppdretteren har kun tilgang til smolt deler av året. Vi vil i denne modellen forutsette at oppdretteren kan sette ut ny smolt to ganger i året, en gang på våren og en gang på høsten.

3.2 Antall

Antall fisk, $N(t)$, vil reduseres med tiden ettersom noen fisk dør. Hvor stor andel av fisken en setter ut som dør vil øke med tiden:

$$N(t) = N_0 e^{-\int_0^t M(u) du} \quad (3.1)$$

Ligning 3.1 viser antall fisk til en hver tid fra fisken settes ut til den slaktes. Produksjonen starter ($t = 0$) når oppdretteren setter ut et antall smolt i merdene, N_0 :

$$N(0) = N_0 \quad (3.2)$$

For å forenkle analysen vil vi forutsette en konstant dødelighet, gitt ved parameteret M . Dette betyr at $M(t) = M$, noe som fører til at antall fisk (ligning 3.1) kan skrives som:

$$N(t) = N_0 e^{-tM} \quad (3.3)$$

Ligning (3.3) forteller oss hvor mange fisk som står i merdene til enhver tid. Antall fisk i merden faller over tid på grunn av dødelighet ($M > 0$). Det vil si at $\frac{dN(t)}{dt} < 0$. Dersom

M øker vil en større andel av fisken satt ut (N_0) dø i løpet av et år.

3.3 Vekstfunksjonen

Etter hvert som fisken står i sjøen vil den vokse. Vekten til en enkelt fisk vil påvirkes av mange faktorer, slik som temperatur, smoltstørrelse, potensiell maksimalvekt og hvor lenge den har stått i sjøen. Ligning (3.4) uttrykker vekten til en individuell fisk som en funksjon av tiden. Etterhvert som fisken står i sjøen vil den vokse mot sin maksimalvekt (w_∞). Dette kommer frem av vekstfunksjonen, som angir vekten til en enkelt fisk over tid:

$$w_i(t) = w_\infty \left(1 + \left(\left(\frac{w_{t_0i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right)^3 \quad (3.4)$$

Hvor $i = V, H$, der V står for vårutsett og H står for høstutsett. w_{t_0} er fiskens vekt når den blir satt ut i sjøen mens w_∞ er fiskens potensielle maksimalvekt. Parameteren K avgjør hvor lang tid det tar før fisken når sin maksimalvekt. s_m og a forteller oss til hvilken grad hvordan fiskens vekst påvirkes av temperaturen i sjøen. Dette er forklart nærmere senere i oppgaven.

Det forutsettes her at hver enkelt fisk har samme vekt. Dette er sjeldent tilfellet. Av fisken som blir satt ut vil noen vokse fortere enn andre, og det vil derfor være noe forskjeller på vekten til hver enkelt fisk. Ligning (3.4) uttrykker vekten til en representativ fisk, eller gjennomsnittsvekten.

Vekstfunksjonen til et vårutsett vil være forskjellig fra den for et høstutsett. Dette skyldes størrelsen på smolten som bli satt ut. (3.4) tar hensyn til dette ved notasjonen i . Differansen i størrelsen på smolten mellom vår og høstutsett skyldes at oppdretteren kun har mulighet til å sette ut såkalte 1-åringer på våren, mens 0-åringer settes ut på høsten. Dessuten er temperaturen i sjøen forskjellig på våren og på høsten.

Temperaturen i sjøen er avgjørende for veksthastigheten til fisken. På høsten, når temperaturen i vannet er høy, vokser fisken fortere enn hva den gjør om vinteren. Dette er tatt hensyn til i vekstfunksjonen gjennom sesongfaktoren s_m :

$$s_m = \sin(\pi(2t + 1)) \quad (3.5)$$

Sesongfaktoren s_m tar en verdi mellom -1 og 1. Høy temperatur i sjøen, tilsvarer en høy sesongfaktor. Når $t = 0,75$ tar s_m verdi 1, det vil si i uke 39. \sin uttrykker sinusfunksjonen og denne verdien vil gjenta seg hvert år. Det vil si at $s_m = 1$ for $t = 1.75, 2.75, 3.75$ osv. Sesongfaktoren påvirker vekstfunksjonen (ligning 3.4), høy verdi på sesongfaktoren gir en høyere verdi på vekstfunksjonen. Lave vanntemperaturer, som gir lav verdi på sesongfaktoren fører tilsvarende til lavere verdi på vekstfunksjonen.

3.4 Stående Biomasse

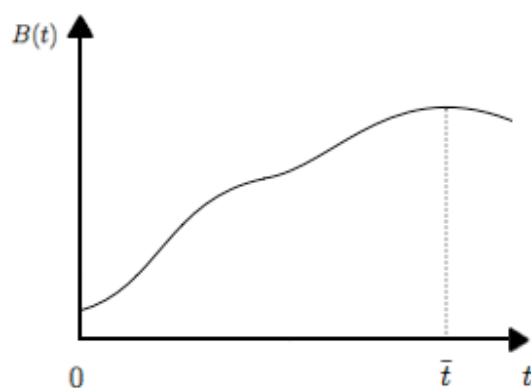
Biomassen vi har stående i sjøen til enhver tid avhenger av antall fisk og vekten til hver enkelt fisk. Etterhvert som tiden går vil noen fisk dø, noe som reduserer stående biomasse. Samtidig vil hver enkelt fisk vokse, noe som øker biomassen. Ved å multiplisere antall fisk med vekten til hver enkelt fisk finner vi stående biomasse:

$$B(t) = w(t)N(t) \tag{3.6}$$

Endringen i biomassen over tid er gitt ved:

$$\begin{aligned} \frac{dB(t)}{dt} &= \frac{dw(t)}{dt}N(t) + w(t)\frac{dN(t)}{dt} \implies \\ &= B(t)\left(\frac{\frac{dw(t)}{dt}}{w(t)} - M\right) \end{aligned} \tag{3.7}$$

hvor $\frac{\frac{dw(t)}{dt}}{w(t)}$ er den relative vekstraten til fisken. Så lenge den relative vekstraten er høyere enn dødelighetsparameteren, det vil si $\frac{\frac{dw(t)}{dt}}{w(t)} > M$, vil biomassen øke med tiden. Det er naturlig å tro at den relative vekstraten vil falle med tiden. Da dødeligheten er forutsatt konstant, vil vi komme til et punkt hvor biomassen reduseres når t øker.



Figur 3.2: Biomasseutvikling

Figure 3.2 viser hvordan biomassen utvikler seg over tid. Til høyere for toppunktet, som er markert med \bar{t} , vil den relative vekstraten være lavere enn dødelighetsparameteret, M . Årsaken til at grafen er ujevn er knyttet til sesongfaktoren i vekstfunksjonen, ettersom sesongforskjeller i temperatur gjør at veksten ikke er den samme for enhver t .

3.5 Verdien av et utsett

For oppdretteren vil verdien av et utsett kunne uttrykkes som inntektene fra utsettet, fratrukket kostnadene som påløper i forbindelse med et utsett:

$$V(t) = p \cdot B(t) - C \quad (3.8)$$

Der $p \cdot B(t)$ er prisen per kilo multiplisert med biomassen. Dette er inntektene til oppdretteren. C er kostnadene som påløper i forbindelse med et utsett.

Det er denne verdien vi ønsker å maksimere, ved å velge hvor mange smolt som settes ut og når fisken skal slaktes. I virkeligheten vil den relative prisen på fisk i forskjellig størrelser i stor grad variere, prisen vil også variere gjennom året. Forskjellen i relative priser vil ikke inkluderes i den teoretiske modellen, men vi vil senere i oppgaven diskutere og analysere effekten av å inkludere dette numerisk.

Vi vil videre se nærmere på kostnadssiden før vi går videre og ser på verdien av flere utsett. Kostnadene vi ønsker å fokusere på er førkostnad, smoltkostnad og produksjonskostnad. Dette er kostnader som påvirkes av både antall smolt satt ut og slaktetidspunkt, og har derfor stor effekt på verdien av et utsett. Andre driftskostnader som for eksempel lønn og administrasjonskostnader har vi valgt å se bort i fra. Årsaken til dette er at for

en gitt produksjonskapasitet vil disse kostnadene ikke variere med produksjonen. De vil derfor ikke påvirke hvordan oppdretteren legger opp sin produksjonsplan.

3.6 Fôrkostnad

For at fisken skal vokse er den avhengig av fôr. Kostnaden knyttet til fôring kan beskrives gjennom noe vi kaller fôrfaktor (f_t). Fôrfaktoren angir hvor mange kilo fôr fisken skal ha for å vokse én kilo. Fôrfaktoren finner vi ved å dividere bruken av fôr på vekten til fisken. Som ligning (3.9) viser kan vi finne bruken av fôr til en hver tid, $F(t)$, ved å multiplisere fôrfaktoren med veksten til fisken.

$$f_t = \frac{F(t)}{\frac{dw(t)}{dt}} \implies F(t) = f_t \frac{dw(t)}{dt} \quad (3.9)$$

$F(t)$ viser altså hvor mye fôr som brukes per fisk, til enhver tid. Ved å multiplisere denne med antall fisk finner vi det totale forbruket av fôr som en funksjon av tiden:

$$N(t)F(t) = f_t \frac{dw(t)}{dt} N_0 e^{-tM} \quad (3.10)$$

Legg merke til at (3.10) tar hensyn til at antall fisk reduseres som en konsekvens av dødeligheten. Vi vil videre anta at fôrfaktoren er konstant over fiskens livssyklus.

La C_f utrykke kostnaden for et kilo fôr. En kostnad vi antar er konstant over tid. Ved å summere den totale bruken av fôr fra tid 0 til t finner vi bruken av fôr til enhver tid. Denne kostnaden må neddiskonteres fra forskjellige tidspunkt, basert på når fôret ble brukt, til investeringstidspunktet. Utrykket for nåverdien av fôrkostnaden kan dermed skrives slik:

$$NPV_{C_f} = - \int_0^t C_f f \frac{dw(u)}{du} N_0 e^{-uM} e^{-ur} du \quad (3.11)$$

$C_f f \frac{dw(u)}{du} N_0 e^{-uM}$ er total fôrkostnad på et tidspunkt, mens leddet e^{-ur} neddiskonterer kostnaden til investeringstidspunktet. Fisken fôres hver eneste dag, gjerne flere ganger om dagen. Dette gjør at fôrkostnaden påløper på mange forskjellige tidspunkt. Ved å ta integralet fra 0 til t summerer vi nåverdien av fôrbruken. Det som står etter integraltegnet kan forklares på følgende måte: Fôrfaktoren (f) multiplisert med veksthastigheten til fisken ($\frac{dw(u)}{du}$) er fôrforbruket per fisk til enhver tid u . Ved å multiplisere med kostnaden per kilo fôr finner vi fôrkostnaden per fisk til enhver tid. Videre multipliserer vi med antall, justert for dødelighet ($N_0 e^{-uM}$) og neddiskonterer til investeringstidspunktet (e^{-ur}).

3.7 Smoltkostnad

Oppdretteren starter produksjonen av laks ved å sette smolt i sjøen. Smolten kjøpes eller produseres på egenhånd. Uavhengig av om smolten kjøpes eller produseres selv medfører dette en kostnad for oppdretteren. Siden smoltkostnaden påløper ved $t = 0$ kan nåverdien av smoltkostnaden ved et utsett uttrykkes:

$$NPV_{C_s} = C_s N_0, \quad (3.12)$$

hvor C_s er kostnaden per smolt. Jo flere smolt, N_0 , oppdretteren velger å sette ut jo større vil kostnaden knyttet til smolt være.

3.8 Slaktekostnad

Fra fisken er slakteklar til den kan leveres til kunden påløper det en rekke kostnader. Disse kostnadene har vi valgt å slå sammen til en slaktekostnad, uttrykket ved C_p . Denne inkluderer blant annet kostnader knyttet til slakting, brønnbåter og pakking av fisken. Driverene for disse kostnadene er både antall fisk, $N_0 e^{-mt}$, og totalt volum. Vi forenkler dette og lar disse kostnadene avhenge av antall fisk som tas ut av merdene og gjøres klar til levering. Ved å multiplisere kostnaden C_p med antall fisk satt ut, justert for dødelighet, finner vi den totale slaktekostnaden. Da denne kostnaden påløper i det fisken tas opp av sjøen, må den neddiskonteres til $t = 0$. Nåverdien av slaktekostnaden er gitt ved:

$$NPV_{C_p} = C_p N_0 e^{-Mt} e^{-rt} \quad (3.13)$$

3.9 Beslutningsvariabler

Tidligere i oppgaven har de biologiske prosessene knyttet til smoltifisering blitt forklart. Disse gjør at oppdretteren kun har tilgang til smolt i visse perioder i løpet av året. Oppdretteren kan dermed ikke starte et nytt utsett til enhver tid. Vi vil derfor se på en situasjon hvor oppdretteren kun kan sette ut smolt to ganger i løpet av et år. Vi ser på en situasjon med et vårutsett og et høstutsett. I virkeligheten vil det være mulig å sette ut smolt ved flere forskjellige tidspunkt innenfor et vår- eller høstutsett, da det er en tidsperiode hvor oppdretteren kan sette smolt i sjøen. Vi vil gjøre en forenkling ved å si at et utsett skjer på et eksakt tidspunkt, både på våren og på høsten. Denne antagelsen vil ha liten innvirkning på resultatene.

Ettersom det på lang sikt er et uendelig antall utsett har vi et problem med en uendelig rekke beslutningsvariabler. Oppdretteren skal velge hvor man smolt han setter ut og når fisken skal slaktes hvert eneste år til evig tid. Dersom vi antar at utsettene skjer i en fast rytme forenkler vi problemet. Dette er ingen sterk antagelse i en deterministisk modell. Det er nemlig ingen grunn til at dette ikke vil skje når oppdretteren finner sin likevekt. Vi antar at et anlegg alltid vil ha enten høstutsett eller vårutsett. Det vil si at uavhengig av når fisken på et anlegg slaktes vil neste utsett skje på samme tidspunkt på året, høst eller vår, som forrige utsett. Dette gjør at vi kan redusere antall beslutningsvariabler.

I situasjonen med en bestemt rytme for utsettene, hvor utsettet skjer på et gitt tidspunkt og ikke over en periode vil vi ha fire beslutningsvariabler. Oppdretteren velger hvor mange smolt som settes ut på våren og hvor mange på høsten. Han velger også hvor lenge hvert av utsettene skal stå i sjøen, altså tidspunktet for slakting for de to utsettene. Dette kan oppsummeres i:

T^V = Antall år etter vårutsett fisken slaktes

T^H = Antall år etter høstutsett fisken slaktes

N_0^V = Antall smolt satt ut på våren

N_0^H = Antall smolt satt ut på høsten

3.10 Verdien av flere utsett

Vi har tidligere argumenter for at det ikke er tilstrekkelig å se på kun ett utsett, da valgene som bli gjort i en periode også påvirker neste periode. I dette avsnittet går vi fra å se på verdien av et utsett til å se på den samlede verdien av evig mange utsett ved å bruke Faustmanns regel

Nåverdien av vårutsett nummer s kan uttrykkes slik:

$$NPV_s^V = pw(T^V)N_0^V e^{-MT^V} e^{-r(T^V+s-1)} - \int_0^{T^V} C_f f \frac{dw(u)}{du} N_0^V e^{-Mu} e^{-r(u+s-1)} du - C_s N_0^V e^{-r(s-1)} - C_p N_0^V e^{-MT^V} e^{-r(T^V+s-1)} \quad (3.14)$$

Det første leddet er nåverdien av inntektene. For å beregne inntektene, starter vi med biomasse som er vekten til en individuell fisk multiplisert med antallet fisk ved

slakting. Antall kilo slaktet multipliseres så med prisen per kilo P . Inntektene av det første utsett, $s = 1$, tilfaller oppdretteren T^V år frem i tid. Dette neddiskonteres ved å multipliseres med e^{-rT^V} . Utsett nummer to, $s = 2$, settes ut et år senere, og må derfor multipliseres med $e^{-r(T^V+1)}$ for å uttrykke dagens verdi.

De tre neste leddene uttrykker henholdsvis fôr-, smolt- og produksjonskostnaden. På samme måten som inntektene, neddiskonteres kostnadene fra tidspunktet de påløper til dagens verdi.

Tilsvarende kan nåverdien av høstutsett nummer s uttrykkes slik:

$$NPV_s^H = pw(T^H)N_0^H e^{-MT^H} e^{-r(T^H+s-\beta)} - \int_0^{T^H} C_f f \frac{dw(u)}{du} N_0^H e^{-Mu} e^{-r(u+s-\beta)} du - C_s N_0^H e^{-r(s-\beta)} - C_p N_0^H e^{-MT^H} e^{-r(T^H+s-\beta)} \quad (3.15)$$

Den eneste forskjellen på nåverdien av vårutsett (3.14) og høstutsett (3.15) er parameteren β . β uttrykker differansen i tid mellom vårutsett og høstutsett. Inntektene og kostnadene for høstutsett påløper β år etter vårutsett, som er starttidspunktet i modellen.

Ved å summere nåverdien av alle utsett finner vi uttrykket for profitten til oppdretteren (II). Det er denne vi ønsker å maksimere:

$$\Pi = \sum_{s=1}^{\infty} NPV_s^V + NPV_s^H = \pi_V + \pi_H \quad (3.16)$$

Hvor π_V og π_H er definert som følger:

$$\pi_V = \frac{\left(pw(T^V) e^{-MT^V} - C_s e^{rT^V} - C_p e^{-MT^V} \right) N_0^V - \int_0^{T^V} C_f f \frac{dw(u)}{du} N_0^V e^{-u(M+r)} du e^{rT^V}}{e^{rT^V} - 1} \quad (3.17)$$

$$\pi_H = \frac{\left(pw(T^H) e^{-MT^H} - C_s e^{rT^H} - C_p e^{-MT^H} \right) N_0^H - \int_0^{T^H} C_f f \frac{dw(u)}{du} N_0^H e^{-Mu} e^{-r(u+s-\beta)} du e^{r(T^H+1-\beta)}}{e^{r(1-\beta)} (e^{rT^H} - 1)} \quad (3.18)$$

De to uttrykkene π_V og π_H er nåverdier av henholdsvis uendelig antall vårutsett og uendelig antall høstutsett. Ved å summere nåverdier av alle vårutsettene finner vi π_V . Dette gjør man ved å summere NPV_s^V (Ligning 3.14) for $s = 1$ til $s \rightarrow \infty$. Vi har gjort tilsvarende for å finne uttrykket for π_H .

3.11 Biomassebegrensninger

Maksimalt tillatt biomasse (MTB) setter begrensninger på hvor mye fisk en oppdretter kan ha stående i sjøen. Nåværende MTB-regime fungerer slik at en oppdretter kun kan ha stående et gitt antall tonn fisk per konsesjon. Dette gjelder til enhver tid. For en hver t må dermed følgende holde:

$$B^F(t, N_0^V, N_0^H) \leq \bar{B}^F \quad (3.19)$$

Hvor \bar{B}^F uttrykker MTB-grensen på hvor mye fisk en oppdretter kan ha stående i sjøen. $B^F(t, N_0^V, N_0^H)$ er stående biomasse til enhver tid. Dette er summen av vårutsett og høstutsett. Biomassen oppdretteren har stående i sjøen er en funksjon av tiden, antall smolt satt ut på våren og antall smolt satt ut på høsten:

$$\begin{aligned} B^F(t, N_0^V, N_0^H) = & w(t - s_V + 1)N_0^V e^{-M(t-s_V+1)} + w(t - s_H + (2 - \beta))N_0^H e^{-M(t-s_H+(2-\beta))} \\ & + w(t - s_V)N_0^V e^{-M(t-s_V)} + w(t - s_H + (1 - \beta))N_0^H e^{-M(t-s_H+(1-\beta))} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Ligning 3.20 forteller hvor mye biomasse oppdretteren har stående i sjøen til enhver tid (t). Det vil til enhver tid kunne stå to vårutsett i sjøen. Første og tredje ledd i ligningen uttrykker stående biomasse for disse utsettene. Tilsvarende har vi andre og fjerde ledd som gjelder for de to høstutsettene som er i sjøen samtidig. Stående biomasse til enhver tid er summen av fire utsett, to vårutsett og to høstutsett. Stående biomasse for hvert utsett finnes ved å multiplisere vekten per fisk med antall fisk. Vekten til en individuell fisk, $w(t)$, bestemmes av hvor lenge fisken har stått i sjøen. Da t går fra 0 til ∞ må vi justere for antall utsett som er foretatt, s_V og s_H , for at tiden hvert utsett har stått i sjøen skal bli riktig. Andre og fjerde ledd inneholder β . Denne justerer for forskjellen i tid mellom vår- og høstutsett.

Om et rullerende gjennomsnittlig MTB-system blir innført vil begrensningen endre seg. Gjennomsnittlig stående biomasse over de tolv siste månedene ($B^R(t, N_0^V, N_0^H)$) skal da være under ett gitt nivå (\bar{B}^R). For en hver t må dermed følgende holde:

$$B^R(t, N_0^V, N_0^H) \leq \bar{B}^R \quad (3.21)$$

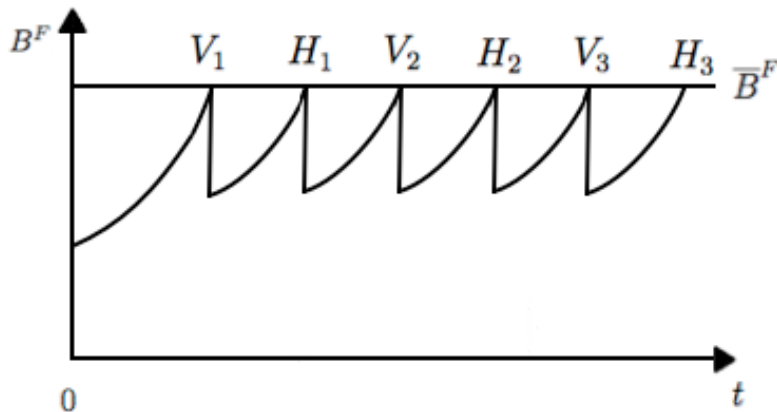
Gjennomsnittet av stående biomasse de tolv siste månedene kan uttrykkes:

$$\begin{aligned} B^R(t, N_0^V, N_0^H) = \int_{t-1}^t & w(t - s_V + 1)N_0^V e^{-M(t-s_V+1)} + w(t - s_H + (2 - \beta))N_0^H e^{-M(t-s_H+(2-\beta))} \\ & + w(t - s_V)N_0^V e^{-M(t-s_V)} + w(t - s_H + (1 - \beta))N_0^H e^{-M(t-s_H+(1-\beta))} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Ligning 3.22 fungerer på akkurat samme måte som ligning 3.20. Forskjellen er integralet som går fra $t - 1$ til t . Denne forskjellen gjør at ligning 3.22 uttrykker gjennomsnittet av stående biomasse de siste tolv månedene, og ikke stående biomasse til enhver tid.

Dynamiske og statiske begrensninger

Begrensningene presentert i ligning 3.20 og 3.22 er dynamiske. De gjelder for enhver t og det er ikke tatt hensyn til slaktetidspunktet for hvert av utsettene. For å kunne legge disse på det statiske optimeringsproblemet vi presenterte tidligere, må disse begrensningene gjøres om til statiske begrensninger, slik at de blir uavhengige av tid. I en situasjon med to utsett, to slaktetidspunkt og en fast rytme på utsettene hvert år vil stående biomasse kunne illustreres som i figur 3.3.



Figur 3.3: Stående biomasse

Som vi ser av figur 3.3 vil stående biomasse ha flere toppunkter. I løpet av et år vil biomassen nå et toppunkt ved to tidspunkter. Det ene vil være i det vårutsettet slaktes, og det andre vil være når høstutsettet slaktes. Ved et eller begge av disse tidspunktene vil biomassebegrensningen binde, det vil si at vi har stående akkurat så mye fisk i sjøen som vi har lov til. Toppunktene finner vi ved:

$$\text{Max}_t: B^F(t, N_0^V, N_0^H) \quad (3.23)$$

$$\text{s.t. } t \leq T^i, i = V, H \quad (3.24)$$

Toppunktet hvor vårutsettet og høstutsettet slaktes er gitt ved:

$$B_V^F = B_V^F(T^V, N_0^V, N_0^H) \quad (3.25)$$

$$B_H^F = B_H^F(T^H, N_0^V, N_0^H) \quad (3.26)$$

Løsningen på problemet presentert i ligning 3.23 og 3.24, altså toppunktet for biomassen, vil være den høyeste verdien av B_V^F og B_H^F :

$$\max(B_V^F, B_H^F) = B_*^F(N_0^V, N_0^H, T^V, T^H) \quad (3.27)$$

B_*^F gir oss et uttrykk for biomassen når den er på sitt høyeste. Det vil være denne som setter en begrensning for problemet. Vi har nå gjort om biomassebegrensningen fra en dynamisk begrensning til en statisk for tilfellet med dagens MTB-system.

I tilfellet med rulernde gjennomsnitt MTB vil begrensningen alltid binde. Dette skyldes at så lenge gevinsten av å sette ut en ekstra fisk vil være positiv ($\frac{d\pi}{dN_0} > 0$), vil det alltid lønne seg å ligge på MTB-grensen. Med det systemet vi ser på, med to utsett og to slaktetidspunkt, som skjer samme tid hvert år, vil det rullerende gjennomsnittet være det samme til enhver tid. Vi kan derfor skrive:

$$B_*^R = B^R, \text{ gitt at } \frac{d\pi}{dN_0} \geq 0 \text{ på det nivået} \quad (3.28)$$

Ved å bruke B_*^R i begrensningen for rullerende gjennomsnitts-MTB kan vi sette opp optimeringsproblemet. Problemet inneholder nå kun statiske begrensninger og kan derfor løses uten å sette opp et dynamisk problem.

3.12 Optimeringsproblemene

Vi forutsetter at oppdretteren har som mål å maksimere profitten (Π). Oppdretteren maksimerer profitten gjennom å optimalisere produksjonsplanen. Med produksjonsplan mener vi hvor mange smolt han setter ut ved de forskjellige utsettene og hvor lenge han lar fisken stå i sjøen før den slaktes.

Hvilken biomassebegrensning oppdretteren må forholde seg til er avgjørende. Vi vil derfor se på to ulike maksimeringsproblemer. Et problem hvor nåværende MTB-system er gjeldende, og et annet hvor vi bruker rullerende gjennomsnitt som begrensning. Målet, å maksimere profitten ved hjelp av de ulike beslutningsvariablene, vil være det samme for begge problemene.

Maksimeringsproblemet ved maksimalt tillatt biomasse blir dermed:

$$\max \Pi = \pi_V + \pi_H \quad (3.29)$$

$$\text{s.t. } B_*^F(t, N_0^V, N_0^H) \leq \bar{B}^F \quad (3.30)$$

Maksimeringsproblemet ved rullerende gjennomsnitt er:

$$\max \Pi = \pi_V + \pi_H \quad (3.31)$$

$$\text{s.t. } B_*^R(t, N_0^V, N_0^H) \leq \bar{B}^R \quad (3.32)$$

3.13 Funksjonenes spesifikasjoner

Objektivfunksjonen (ligning 3.16) er påvirket av vekstfunksjonen (ligning 3.4), og derfor er objektivfunksjonens form i stor grad avgjort av vekstfunksjonen. Det er derfor nyttig å først se på formen til vekstfunksjonen.

Den deriverte av vekstfunksjonen (A.9) er å finne i Tillegg A. Denne er positiv for et fornuftig valg av parameteren a . Størrelsen på a bestemmer effekten temperatursvingningene har på fiskens vekst, og en større a vil øke effekten. Fisken vil få redusert sin veksttakt i vinterhalvåret når det er kaldt i vannet, men fiskens vekst vil aldri være negativ. Vi forutsetter videre at a er valgt slik at $\frac{dw_i(t)}{dt} > 0$ for $t \leq T^V, T^H$.

Ser vi bortifra sesongsvingningene, det vil si at vi setter $a = 0$, vil vekstfunksjonen (3.4) ha en klassisk S-form. Den er konveks for lave T^i og konkav for høy T^i . La \bar{T}^i være vendepunktet. Det vil si at $a = 0$ gir $\frac{d^2 w_i(t)}{(dt)^2} > 0$ for $T^i < \bar{T}^i$ og $\frac{d^2 w_i(t)}{(dt)^2} < 0$ for $T^i > \bar{T}^i$.

Tar vi derimot med temperatureffekten kan vi ikke si noe generelt om når funksjonen er konkav eller konveks. Fortegnet til den dobbeltderiverte vil for enkelte tidspunkt T^i være positiv og for andre negativ.

Kapittel 4

Analytisk løsning

I dette kapitlet vil vi avgjøre hvilke løsningsmengder som er relevante å vurdere både under nåværende MTB-begrensning og under en rullerende gjennomsnittlig MTB-begrensning. Dette vil vi gjøre med bruk av Lagranges-metode og gjennom diskusjon av praktiske forhold.

4.1 Nåværende MTB

Vi har som sagt beslutningsvariablene T^V , T^H , N_0^H og N_0^V . La oss først betrakte slakte-tidspunktet $T^i = 0$ og smoltutsettet $N_0^i = 0$. At T^i skulle vært lik null betyr at en slakter fisken i det den settes ut. Å sette ut smolt har en kostand, denne ville ikke ha blitt dekket inn ved å selge fisken du har ved $T^i = 0$. Derfor kan $T^i = 0$ aldri være en lønnsom løsning. En løsning som inneholder $N_0^i = 0$ vil ha stor betydning for en oppdretters mulighet til å utnytte MTB-taket under nåværende regime. Han vil ikke klare å kompensere for sin reduserte produksjon ved å sette ut mer smolt i det andre utsette. Ser vi på figur 3.3 er dette åpenbart, ingen fisk i det ene utsette vil øke avstanden mellom toppunktene på grafen og føre til lavere bunnpunkter. Derfor er dette ikke en aktuell løsning.

Den andre hjørneløsningen $T^i = T^{MAX}$ betyr at fisken står helt til merden må brakklegges. Dette betyr i praksis at en slakter laksen med en vekt på over 6 kg. I realiteten er det uvanlig å la laksen vokse seg så stor, dette fordi laksens vekst avtar etter hvert som den blir større og det vil derfor lønne seg å bytte den ut med mindre laks med høyere veksttakt. Det kan selvsagt henda at vi har et individ på over 6 kg, men her i modellen er alle fisk like store så dette må sees i sammenheng med gjennomsnittsvekten i en virkelig merde. Den numeriske modellen gir oss også indikasjoner på at dette er en løsning som ikke er interessant å studere. Det skal nevnes at dette vil endre seg hvis vi har et år med lave sjøtemperaturer, eller hvis vi ser på et anlegg plassert på en lokalitet med

lave sjøtemperaturer, typisk nord i Norge. For gjennomsnittsanlegget som vi analyserer er dette likevel sjeldent aktuelt. Dette bekreftes av den numeriske analysen i kapittel 5.2.

Vi har tidligere argumentert for at biomassebegrensningen vil binde (se kapittel 3.11). Ligning 3.30 beskriver toppunktene i biomassen, denne vil alltid binde da oppdrettern alltid har positiv marginalprofitt av å øke N_0^i og således vil øke antall smolt til begrensningen binder. Dette vil si at $\lambda > 0$ i ligning 4.1 nedenfor.

Med dette som argumentasjon mener vi derfor at det under den nåværende begrensningen er den indre løsningen som er interessant. Vi maksimerer ligning 3.29 gitt ligning 3.30. Lagrangeproblemet settes derfor opp slik:

$$\mathcal{L} = \pi_V(N_0^V, T^V) + \pi_H(N_0^H, T^H) + \lambda(\bar{B}^F - B_*^F(N_0^V, N_0^H, T^V, T^H)), \quad (4.1)$$

der lambda (λ) er skyggeprisen til MTB-begrensningen. Lambda forteller hvor stor effekt en økning av biomassen har på profitten. π_V og π_H er gitt av ligning 3.17 og 3.18 og er henholdsvis nåverdien av alle vår- og høstutsett. Mens B_*^F er gitt av ligning 3.30 og er begrensningen på hvor mye fisk som kan være stående i sjøen til en hver tid.

Deriverer vi med hensyn på kontrollvariablene: T^V , T^H , N_0^V og N_0^H får vi:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial N_0^V} = \frac{\partial \pi_V}{\partial N_0^V} - \lambda \frac{\partial B_*^F}{\partial N_0^V} = 0 \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial N_0^H} = \frac{\partial \pi_H}{\partial N_0^H} - \lambda \frac{\partial B_*^F}{\partial N_0^H} = 0 \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial T^V} = \frac{\partial \pi_V}{\partial T^V} - \lambda \frac{\partial B_*^F}{\partial T^V} = 0 \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial T^H} = \frac{\partial \pi_H}{\partial T^H} - \lambda \frac{\partial B_*^F}{\partial T^H} = 0 \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = \bar{B}^F - B_*^F = 0 \quad (4.6)$$

Dermed er løsningen gitt av følgende likheter:

$$\frac{\partial \pi_V}{\partial N_0^V} = \lambda \frac{\partial B_*^F}{\partial N_0^V} \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial N_0^H} = \lambda \frac{\partial B_*^F}{\partial N_0^H} \quad (4.8)$$

$$\frac{\partial \pi_V}{\partial T^V} = \lambda \frac{\partial B_*^F}{\partial T^V} \quad (4.9)$$

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial T^H} = \lambda \frac{\partial B_*^F}{\partial T^H} \quad (4.10)$$

$$\bar{B}^F = B_*^F \quad (4.11)$$

Ligning 4.7 og 4.8 forteller oss at marginalprofitten av å sette ut en ekstra smolt er lik marginaløkningen på stående biomasse av en ekstra smolt multiplisert med skyggeprisen (λ). Skyggeprisen viser oss hvor stor effekt en biomasseøkning har på profitten.

Ligning 4.9 og 4.10 forklarer at hvis en lar laksen stå litt lenger i sjøen, dvs øker T^i marginalt, alt annet likt, så vil biomassen øke. Hvor stor effekt dette har på profitten (π_i) avgjøres av skyggeprisen (λ).

Videre, ved å dividere ligning 4.7 på 4.8 får vi følgende uttrykk:

$$\frac{\frac{\partial \pi_V}{\partial N_0^V}}{\frac{\partial \pi_H}{\partial N_0^H}} = \frac{\frac{\partial B_*^F}{\partial N_0^V}}{\frac{\partial B_*^F}{\partial N_0^H}} \quad (4.12)$$

Høyresiden av ligningen forteller oss hva den relative effekten på biomassen er av å sette ut en ekstra smolt på våren mot å sette ut en ekstra smolt på høsten. Er høyresiden større enn 1 betyr det at biomasseøkningen av å sette ut en ekstra smolt på våren er større enn om vi hadde satt ut en ekstra smolt på høsten. I dette tilfellet sier ligning 4.12 at vi har større marginalprofitt av å sette ut en ekstra smolt på våren enn på høsten. Det vil si at $\frac{\partial \pi_V}{\partial N_0^V} > \frac{\partial \pi_H}{\partial N_0^H}$. Dersom høyresiden er mindre enn en vil en smolt satt ut på høsten ha en større betydning for stående biomasse enn en smolt satt ut på våren. Dette gir oss $\frac{\partial \pi_V}{\partial N_0^V} < \frac{\partial \pi_H}{\partial N_0^H}$. Det betyr at marginalprofitten av å sette ut en smolt på høsten er større enn på våren. Dersom høyresiden er forskjellig fra 1 vil det ene utsettet alltid gi en høyere profitt enn det andre, dette kan vi si selv om førsteordensbetingelsen bare gjelder på marginen da $\frac{\partial \pi_i}{\partial N_0^i}$ er konstant. Grunnen til at vi allikevel ikke vil se at det kun blir satt ut smolt i det ene utsettet, er den manglende fleksibiliteten i dagens MTB-begrensing. Oppdretterne kan ikke fritt flytte produksjonen fra det ene utsette til det andre siden han da vil stå i fare for å overstige MTB-begrensningen.

Vi kan gjøre en lignende analyse av en marginal endring i tid i sjø (T^V og T^H). Ved å

dividere ligning 4.9 på 4.10 får vi følgende uttrykk:

$$\frac{\frac{\partial \pi_V}{\partial T^V}}{\frac{\partial \pi_H}{\partial T^H}} = \frac{\frac{\partial B_*^F}{\partial T^V}}{\frac{\partial B_*^F}{\partial T^H}} \quad (4.13)$$

Ligning 4.13 forteller oss at hvis vi har større økning på biomassen av å øke T^V enn ved å øke T^H , som betyr at høyresiden er større enn 1, vil det også medføre at marginalprofitten av økt T^H er mindre enn marginalprofitten av økt T^V . Omvendt ved høyresiden mindre enn 1.

4.2 Rullerende MTB

Når vi studerer problemet med den nye reguleringen, rullerende MTB, har vi de samme beslutningsvariablene som tidligere, T^V, T^H, N_0^H og N_0^V . Den nye MTB-reguleringen vil gi oppdretteren mer fleksibilitet i produksjonen. Hjørneløsningen $T^i = 0$ kan fremdeles utelukkes da det å sette ut smolt har en kostnad som oppdretteren ikke vil få dekket av å slakte og selge en så liten fisk. Når det gjelder hjørneløsningen $T^i = T^{MAX}$ kan vi argumentere på samme måte som for nåværende MTB begrensning, dette bekreftes også av den numeriske modellen. Denne løsningen er altså ikke aktuell å studere.

Hjørneløsningen $N_0^i = 0$ kan i dette ikke direkte utelukkes. En oppdretter har mulighet til å kompensere for lav produksjon i det ene utsettet ved å sette ut mer smolt i det andre utsettet. Denne muligheten skyldes fleksibiliteten som ligger i den rullerende MTB-begrensningen. Oppdretteren har mulighet til å flytte produksjonen fra det ene utsettet til det andre uten at det går utover utnyttelsen av biomassebegrensningen. Vi kan derfor tenke oss en løsning hvor en oppdretter tjener mer på å sette ut smolt på våren enn på høsten. Slik at han derfor kun prioriterer vårutsettet. Tilsvarende vil han prioritere høstutsettet om han har høyere avkastning av å sette ut smolt på høsten enn på våren. Dette vil føre til en løsning som inneholder $N_0^i = 0$ for enten $i = V$ eller $i = H$. Dette vil være mulig dersom for eksempel veksten er høyere ved et utsett.

Begrensningen vil alltid binde for en optimal løsning. Dette fordi det aldri vil være optimalt å redusere stående biomasse under biomassebegrensningen da en oppdretter alltid vil ha positiv marginalprofitt av å øke N_0^i . Det samme gjelder for T^i innenfor det aktuelle intervallet. Økes T^i tilstrekkelig vil biomassen reduseres grunnet mortalitet. Dette er også diskutert i kapittel 3.11.

På bakgrunn av denne argumentasjonen kan Lagrangeproblemet settes opp slik ved bruk av ligning 3.31 og 3.32.

$$\mathcal{L} = \pi_V(N_0^V, T^V) + \pi_H(N_0^H, T^H) + \lambda(\bar{B}^R - B_*^R(N_0^V, N_0^H, T^V, T^H)) \quad (4.14)$$

λ er skyggeprisen til MTB-begrensningen og forteller hvor stor effekt en økning av biomassen har på profitten. π_V og π_H er gitt av ligning 3.17 og 3.18 og er henholdsvis nåverdien av alle vår- og høstutsett. Mens B_*^R er gitt av ligning 3.32 og er begrensningen på hvor mange tonn laks oppdretterne i snitt kan ha stående i sjøen i snitt siste 12 måneder.

Deriverer vi med hensyn på kontrollvariablene: T^V , T^H , N_0^V og N_0^H får vi:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial N_0^V} = \frac{\partial \pi_V}{\partial N_0^V} - \lambda \frac{\partial B_*^R}{\partial N_0^V} \geq 0 \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial N_0^H} = \frac{\partial \pi_H}{\partial N_0^H} - \lambda \frac{\partial B_*^R}{\partial N_0^H} \geq 0 \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial T^V} = \frac{\partial \pi_V}{\partial T^V} - \lambda \frac{\partial B_*^R}{\partial T^V} = 0 \quad (4.17)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial T^H} = \frac{\partial \pi_H}{\partial T^H} - \lambda \frac{\partial B_*^R}{\partial T^H} = 0 \quad (4.18)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = \bar{B}^R - B_*^R = 0 \quad (4.19)$$

Dermed er løsningene gitt av følgende ligninger:

$$\frac{\partial \pi_V}{\partial N_0^V} \geq \lambda \frac{\partial B_*^R}{\partial N_0^V} \quad (4.20)$$

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial N_0^H} \geq \lambda \frac{\partial B_*^R}{\partial N_0^H} \quad (4.21)$$

$$\frac{\partial \pi_V}{\partial T^V} = \lambda \frac{\partial B_*^R}{\partial T^V} \quad (4.22)$$

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial T^H} = \lambda \frac{\partial B_*^R}{\partial T^H} \quad (4.23)$$

$$\bar{B}^R = B_*^R \quad (4.24)$$

Førsteordensvilkårene knyttet til dette maksimeringsproblemet forteller mye av den samme historien som vilkårene for problemet for dagens MTB-regime (4.1).

Ligning 4.20 og 4.21 forklarer at margineffekten på profit av å sette ut en ekstra

smolt skal være større eller lik marginaleffekten på biomasse av å sette ut en ekstra smolt, $\frac{\partial B_*^R}{\partial N_0^i}$ multiplisert med skyggeprisen λ . Siden dette ikke må holde med likhet er det mulig at en hjørneløsning eksisterer.

Ved å dividere ligning 4.20 på 4.21 får vi følgende uttrykk:

$$\frac{\frac{\partial \pi_V}{\partial N_0^V}}{\frac{\partial \pi_H}{\partial N_0^H}} \geq \frac{\frac{\partial B_*^R}{\partial N_0^V}}{\frac{\partial B_*^R}{\partial N_0^H}} \quad (4.25)$$

Høyresiden av ligningen forteller oss hva den relative effekten på biomassen er av å sette ut en ekstra smolt på våren mot å sette ut en ekstra smolt på høsten. Er høyresiden større enn 1 betyr det at biomasseøkningen av å sette ut en ekstra smolt på våren er større enn om vi hadde satt ut en ekstra smolt på høsten. Hvis høyresiden er større enn 1 vil venstresiden fortelle oss at vi har større marginalprofitt av å sette ut en ekstra smolt på våren enn på høsten. Det som er forandret i forhold til analysen i kapittel 4.1 er at dette bytteforholdet ikke lenger er bindene. Optimal tilpasning er nå ikke bestemt av effekten en ekstra smolt har på stående biomasse (B_*^R). Høyresiden i ligning 4.25 kan nå være mindre enn 1 og fremdeles kan marginalprofitten av å sette ut en ekstra smolt på våren være større enn å sette ut en ekstra smolt på høsten. På samme måte som i kapittel 4.1 vil høyresiden av denne ligningen være konstant. Er høyresiden forskjellig fra 1 vil det ene utsettet alltid ha høyere marginalprofitt enn det andre. Siden oppdretteren fritt kan flytte produksjonen mellom utsettene vil han prioritere det utsettet med høyest marginalprofitt.

Ligningene 4.22 og 4.23 sier at det i optimum skal være likhet mellom marginalprofitten av å la fisken stå lengere i sjøen og marginaleffekten på biomassen av økt T^i multiplisert med skyggeprisen λ . Skyggeprisen vil i dette tilfellet fortelle oss hvor stor effekt en biomasseøkning har på profitten.

Videre, dividerer vi ligning 4.22 på 4.23 får vi følgende uttrykk:

$$\frac{\frac{\partial \pi_V}{\partial T^V}}{\frac{\partial \pi_H}{\partial T^H}} = \frac{\frac{\partial B_*^R}{\partial T^V}}{\frac{\partial B_*^R}{\partial T^H}} \quad (4.26)$$

Som i kapittel 4.1 forteller ligningen oss at hvis vi har større økning på den rullerende biomassen av å øke T^V enn ved å øke T^H , som betyr at høyresiden er større enn 1, vil det også medføre at marginalprofitten av økt T^V er større enn marginalprofitten av økt T^H .

4.3 Oppsummering av analytisk løsning

I dette kapitlet har vi studert optimeringsproblemene analytisk. Vi har lært at under dagens MTB-begrensning vil det kun være interessant å studere en indre løsning. Vi har kommentert forholdet mellom marginalprofitten av å sette ut smolt på våren og på høsten. Under nåværende MTB-begrensning må dette forholdet være lik den relative effekten på biomassen av å sette ut en ekstra smolt i et av utsettene. Siden oppdretteren ikke fritt kan flytte produksjonen mellom utsettene vil vi få en indre løsning. Dette er ikke tilfellet ved rullerende MTB. Begrensningens fleksibilitet åpner for at dersom det ene utsettet har høyere marginalprofitt enn det andre vil det kun bli satt ut smolt på dette utsettet.

Kapittel 5

Numerisk løsning

I dette kapitlet vil vi først gjennomgå den numeriske modellen for deretter å presentere og analysere resultatene.

5.1 Den numeriske modellen

For å kunne kvantifisere hvordan en overgang fra nåværende MTB-regime til et rullerende MTB-system vil endre atferden til oppdrettere har vi utviklet en numerisk modell. Modellen er basert på den analytiske modellen presentert over. Den numeriske modellen er utviklet i Microsoft Excel 2010 for Windows. Modellen er, som diskutert, en forenkling av virkeligheten og er utviklet med det formål å undersøke vår problemstilling. Den er ikke ment å brukes som et beslutningsverktøy for næringen, selv om den beskriver enkelte oppdretteres situasjon relativt godt.

5.1.1 Modellkalibrering og inputdata

Parameterne som er brukt i modellen er valgt etter beste evne, og med det formål å speile virkeligheten best mulig. Kostnadsparameterne samt førfaktoren har vi hentet fra Fiskeridirektoratets statistikkbank, mens vekstparameterne utledet fra Skrettings veksttabell, samt virkelige temperaturdata levert av Grieg Seafood. Disse er vist i tabell 5.1. Den numeriske modellen gir rom for relative priser noe den analytiske ikke gjør. En har mulighet til å legge inn forskjellige priser i 3 forskjellige prisklasser, P_{6-7} , P_{4-5} og P_{2-3} . Disse uttrykker henholdsvis prisene for fisk i vektclassene 6-7 kg, 4-5 kg og 2-3 kg. Vektclassen ≤ 2 og ≥ 7 er ikke relevant gitt vår, og derfor utelatt.

Tabell 5.1: Inputdata

Input		
	Vår	Høst
a	0,05	0,05
w_∞	10000	10000
K	0,96	0,96
r	0,05	0,05
m	0,1	0,1
$w_{t_0 i}$	100	100
C^s	15	15
C^p	24	24
C^f	0,011	0,011
f	1,2	1,2
P_{6-7}	29	29
P_{4-5}	29	29
P_{2-3}	29	29

5.1.2 Output

Den numeriske analysen har som mål å maksimere profitten gitt av ligning 3.16. Dette gjør den ved å endre beslutningsvariablene: antall smolt satt ut (N_0^V og N_0^H) og slakte-tidspunkt (T^V og T^H). Modellen maksimere profitten gitt begrensningen som gjelder under nåværende MTB-system (ligning 3.19) og under det nye MTB-systemet (ligning 3.21) ved hjelp av optimerings algoritmen 'evolusjonær'. Denne optimerings algoritmen er beskrevet i detalj i Tillegg A.3.

5.1.3 Funksjonalitet

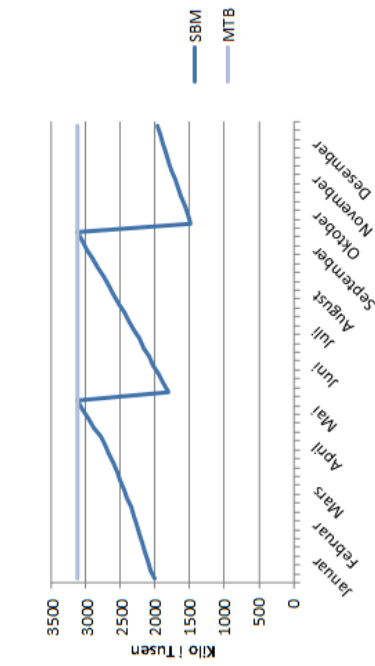
Rent praktisk kan en tenke seg at modellen har fire konsesjoner à 780 tonn fordelt over fire anlegg. Vi har lagt noe struktur på modellen, blant annet vil et anlegg alltid være tildelt enten høstutsett eller vårutsett. Det vil si, uavhengig av når fisken slaktes vil neste utsett skje på samme tidspunkt som forrige utsett. Modellen har to ulike kjøremåter, enten maksimere profitten gitt nåværende MTB-begrensning eller gitt det nye MTB-systemet. Vi bruker problemløserens evolusjonære løsningsmetode for å løse disse optimeringsproblemer. Dette er den beste løsningsmetoden i Excel for å løse ikke-lineære problemer. For å finne optimum bruker problemløseren flere genetiske algoritmer samt lokale søkemetoder.



Bestningsvariabler	
	Vår ^{1-v} Høst ^{1-h}
År i sjø(T ¹)	1,42 1,71
Smolt(N ₀)	362 491 272 614

Begrensninger	
	Stående Lovpålagt
MTB	3 120 005 <= 3 120 000
Rullerende	2 306 446 <= 3 120 000

	Vår	Høst
a	0,05	0,05
W	10000	10000
K	0,96	0,96
r	0,05	0,05
m	0,1	0,1
Wto	100	100
C ^s	15	15
C ^p	24	24
C ^f	0,011	0,011
f	1,2	1,2
P _{e-7}	29	29
P ₄₋₅	29	29
P ₂₋₃	29	29



Output	Vår	Høst	Gj. Snitt
Mnd i Sjø	17,1	20,5	18,8
Slakteuke	Uke 40	Uke 21	
NPV i millioner	230	196	425
Slaktet årlig tonn	845	683	764
Fordeling Slaktet	55 %	45 %	
Slaktevekt	5,4 KG	6 KG	5,7 KG
Fordeling smolt	57 %	43 %	
Profitt pr fisk	38 KR	29 KR	34 KR
Profitt pr kilo	7 KR	5 KR	6 KR

Figur 5.1: Modelloversikt

Figur 5.1 viser modellens brukerside. Her settes inputdataene inn på venstresiden og outputdataene vises på høyresiden. Grafen som vises vil endres avhengig av om du kjører ”MTB” eller ”Rullerende”. Kjører du ”Rullerende” viser grafen Stående Biomasse (SBM), 12 måneder rullerende gjennomsnitt og den rullerende MTB begrensningen. Kjører du ”MTB” viser grafen Stående Biomasse og MTB-begrensningen.

5.2 Numeriske resultater

Under er de numeriske resultatene presentert og analysert.

5.2.1 Nåværende MTB

Vi har løst problemet presentert i ligning 3.29 og 3.30 numerisk. Den numeriske modellen er basert på den analytiske modellen i kapittel 3. Resultatene er presentert i tabellen i tabell 5.2:

Tabell 5.2: Resultat nåværende MTB-system

Output	Vår	Høst	Gj. Snitt
Mnd i Sjø	16,0	18,7	17,3
Slakteuke	Uke 35	Uke 13	
NPV i millioner	213	216	429
Slaktet årlig tonn pr konsesjon	418	408	825
Fordeling Slaktet	51 %	49 %	
Slaktevekt	5 KG	5,7 KG	5,4 KG
Fordeling smolt	52 %	48 %	
Profitt pr fisk	13 KR	17 KR	15 KR
Profitt pr kilo	3 KR	3 KR	3 KR

Tid i sjø

Løsningen gir oss $T^V = 1,33$ og $T^H = 1,5$. Dette betyr at fisken som blir satt ut på våren står i sjøen i 16 måneder, mens fisken fra høstutsettet står i 18 måneder. Dette tilsvarer en slaktevekt på fisken på 5,0 kg og 5,6 kg for henholdsvis vår- og høstutsettet.

Smolt

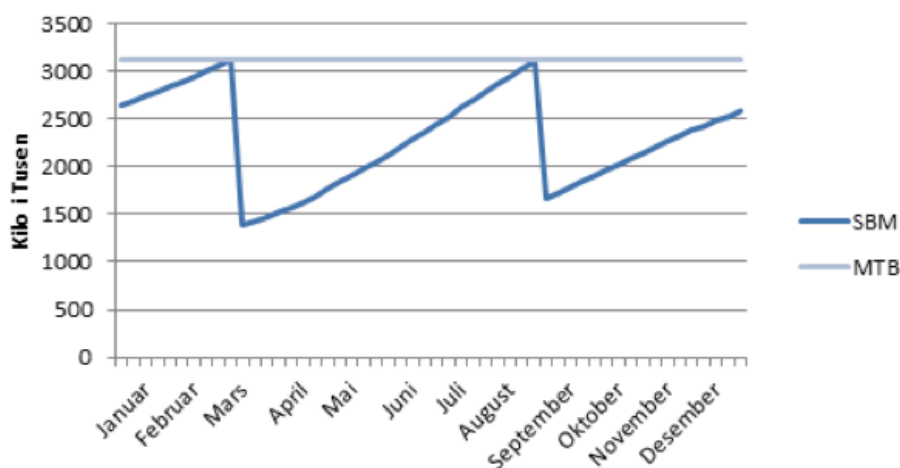
Fordelingen av smolten mellom vår- og høstutsettet kan leses direkte ut av tabellen. Tabellen viser at 47% av smolten som blir satt ut settes ut på våren, mens 53% settes ut på høsten. Det er altså en relativt lik fordeling mellom utsettene. At vi setter ut flere

smolt på høsten enn på våren skyldes forholdet presentert i ligning 4.12. Høyresiden av ligningen sier noe om den relative effekten på biomassen av å sette ut en ekstra smolt på våren mot å sette ut en ekstra smolt på høsten. I løsningen settes det ut flere smolt på høsten, noe som skyldes at $\frac{\partial \pi_V}{\partial N_0^V} < \frac{\partial \pi_H}{\partial N_0^H}$. Dette vil si at høyresiden av ligning 4.12 er mindre enn 1, som betyr at effekten på biomassen av å sette ut en ekstra smolt på høsten er større enn av å sette ut en smolt på våren.

Årsaken til at fordelingen mellom de to utsettene er relativt lik skyldes biomassebeholdningen. Om oppdretteren skal klare å utnytte MTB-grensen på en god måte må han sette ut smolt både på våren og på høsten. I løsningen kan ikke oppdretteren sette ut flere smolt uten å gå over MTB-grensen. Selv ved å redusere antall smolt satt ut på det ene utsett kan en økning i antall smolt på det andre utsett føre til at en overstiger MTB. Det må også nevnes at dersom det var mulig å sette ut smolt flere ganger i året, uten at noen ekstra kostnader påløper, ville oppdretterne gjort dette. Dette skyldes at flere utsett i året, og dermed oftere slakting, gjør at oppdretteren kan ligge nærmere MTB-grensen og dermed utnytte denne i større grad enn ved kun to utsett.

Stående biomasse

Vårutsettet slaktes i uke 35 (august), mens høstutsettet slaktes i uke 10 (mars). Ved disse to tidspunktene vil stående biomasse nå sitt maksimum. Figur 5.2 viser stående biomasse (SBM) gjennom et år:



Figur 5.2: Stående biomasse gjennom et år

De to toppunktene for biomassen gjennom året som vi har beskrevet tidligere i oppgaven kommer klart frem her. Ved disse to tidspunktene vil stående biomasse være lik MTB begrensningen og oppdretteren må derfor slakte for å holde seg innenfor reguleringen. Dette skjer i mars for høstutsette og august for vårutsettet.

Produksjon

Oppdretteren produserer ved denne løsningen 832 tonn per konsesjon. Produksjonen er fordelt relativt jevt mellom de to utsettene med 46% på vårutsettet og 54% på høstutsettet. Dette henger sammen med smoltfordelingen mellom de to utsettene. Som beskrevet tidligere settes 47% av smolten ut på våren, mens 53% settes ut på høsten. Smoltfordelingen, kombinert med at fisken fra høstutsettet slaktes ved en høyere vekt enn fisken fra vårutsettet gjør at produksjonen fra høstutsettet er størst.

5.2.2 Rullerende MTB

Optimeringsproblemet presentert i ligning 3.31 og 3.32 har vi også løst ved hjelp av den numeriske modellen. Resultatene er presentert i tabell 5.3:

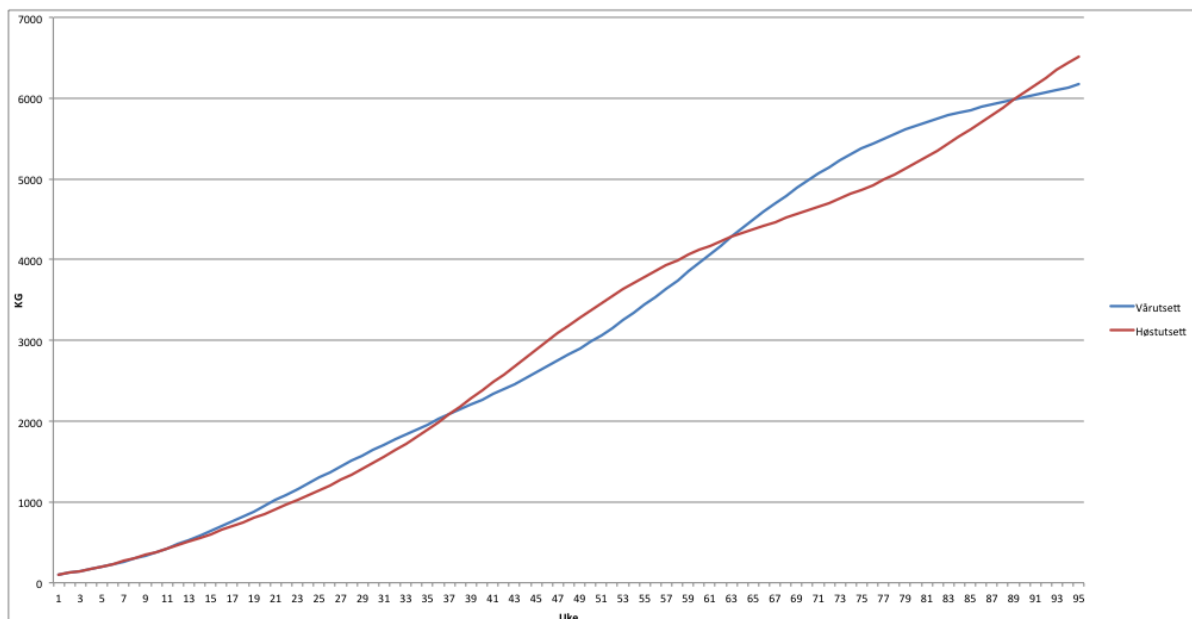
Tabell 5.3: Resultat rullerende MTB-system

Output			
	Vår	Høst	Gj. Snitt
Mnd i Sjø	16,0	0,0	8,0
Slakteuke	Uke 35	Uke 0	
NPV i millioner	663	0	663
Slaktet årlig tonn pr konsesjon	1 301	0	1 301
Fordeling Slaktet	100 %	0 %	
Slaktevekt	5 KG	0,0	5 KG
Fordeling smolt	100 %	0 %	
Profitt pr fisk	13 KR		13 KR
Profitt pr kilo	3 KR		3 KR

Vi kan lese ut av tabellen at en hjørneløsning er optimalt i dette tilfellet. Alt av produksjon skjer fra vårutsettet ($N_0^H = 0$). At vi finner en løsning hvor oppdretteren kun velger å sette ut fisk en gang i året skyldes den nye begrensningen. Det koster ikke lenger oppdretteren noe i form av at en tidligere når MTB-grensen ved å flytte produksjon fra det ene utsettet til det andre. Da den nye begrensningen er et gjennomsnitt trenger ikke oppdretteren å tenke på at stående biomasse vil nå MTB grensen flere ganger i året. Derimot er det nå mulig å utnytte MTB-begrensningen 100%, selv med bare ett utsett per år. Dette gjør at oppdretteren, for en gitt T^i , vil velge å sette ut all smolten i det utsettet som gir høyest profitt (best vekst). Om dette er vår- eller høstutsettet avhenger av T^i . For noen slaktetidspunkt vil veksten for vårutsettet være bedre enn for høstutsettet og en vil da velge å sette ut all smolten på våren. Tilfellet vil være motsatt for andre verdier av T^i . Siden marginalverdien av å sette ut en ekstra smolt er konstant ($\frac{d^2\pi_i}{(dN_0^i)^2} = 0$) og utnyttelsen av MTB-grensen ikke blir påvirket av fordelingen mellom vår- og høstutsett vil vi få en slik hjørneløsning.

Tid i sjø

Slaktetiden påvirker hvilket utsett som vil bli prioritert. For enkelte T^i vil gjennomsnittsveksten for fisk satt ut på våren være høyest og vårutsette vil bli prioritert. For andre slaktetidspunkt vil det være motsatt. Figur 5.3 viser vekstkurven til fisk satt ut på våren og fisk satt ut på høsten, normalisert til samme starttidspunkt $t = 0$.



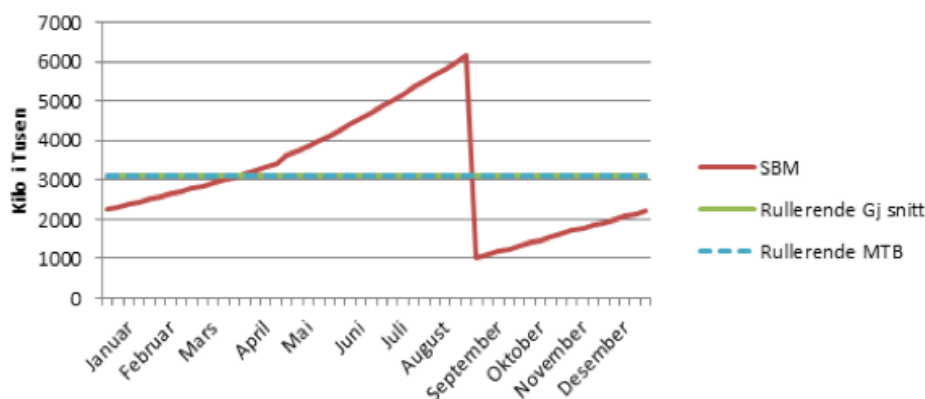
Figur 5.3: Vekstkurve vår- og høstutsett

Figuren viser vekstkurvene til fisk satt ut på vår og høst. For enkelte verdier av T^i ligger vekstkurven for fisk satt ut på våren over vekstkurven for fisk satt ut på høsten. Ved disse verdiene vil veksten for vårutsettet være høyere. I såfall har laksen i vårutsettet nådd en høyere vekt og dette utsettet vil derfor bli valgt. Som vi ser vil andre verdier av T^i gjøre at vi prioriterer høstutsettet.

Vi ser at grafene krysser hverandre ved tre verdier for T^i . Dette betyr at det finnes muligheter for løsninger hvor en setter ut fisk både på våren og på høsten. Ser vi bort fra neddiskontering vil dette være en aktuell løsning for den verdien av T^i som gjør at veksten til fisken er lik, uavhengig av om en setter ut fisk på våren eller høsten. Dette skjer bare i spesialtilfellet hvor valg av parameterverdier er årsaken til at en ender på en slik løsning.

Stående biomasse

Ved rullerende MTB er det optimalt å slakte fisken i uke 35 (august). Ved dette tidspunktet vil biomassen nå sitt toppunkt. Da MTB-grensen nå er et gjennomsnitt kan oppdretteren utnytte den gode veksten i større grad enn før. Figur 5.4 viser stående biomasse gjennom et år.



Figur 5.4: Stående biomasse 1 år

Vi ser av grafen at biomassen i perioden april-september ligger over gjennomsnittet. Dette betyr også at stående biomasse må være under gjennomsnittet en annen periode på året for at oppdretteren skal være innenfor MTB-grensen. Stående biomasse ligger under gjennomsnittet på vinteren, en periode hvor vannet er kaldt og vekstraten til fisken er lav. På denne måten vil gjennomsnittet av biomassen til enhver tid ligge på MTB-grensen. Oppdretteren vil sette ut så mange fisk at gjennomsnittlig stående biomasse er lik MTB-grensen til en hver tid, siden marginalverdien av å sette ut en ekstra smolt er positiv og konstant ($\frac{d\pi_i}{dN_0^i} > 0$ og $\frac{d^2\pi_i}{(dN_0^i)^2} = 0$).

Produksjon

Oppdretteren produserer ved denne løsningen 1 301 tonn per konsesjon. I dag er gjennomsnittsproduksjonen per konsesjon i Norge 1 131 tonn ([Kontali Analyse, 2013a](#)). Produksjonsøkningen skyldes at oppdretteren klarer å utnytte hele MTB-grensen. Dersom en endrer dagens regulering uten å justere ned begrensningen er det naturlig å tro at produksjonen per konsesjon vil øke. Vi vil senere i utredningen se nærmere på denne problemstillingen.

5.2.3 Modellens begrensninger

Modellen vi har presentert tar ikke hensyn til viktige aspekter som risiko, priser og behovet for kapital. Dette er faktorer som oppdretteren må ta hensyn til når han legger opp produksjonen. Løsningen vi har presentert bør derfor ses i sammenheng med faktorer modellen ikke tar hensyn til.

Velger oppdretteren å sette ut all smolten samtidig og kun slakte en gang i året kan risikoen øke betraktelig. Dette gjelder spesielt i forhold til sykdom dersom oppdretterens anlegg ligger i samme område. Et sykdomsutbrudd i den perioden hvor oppdretteren har mye biomasse i sjøen vil ha store konsekvenser. Sannsynligheten for at fisken blir rammet av sykdom øker også om det står mye fisk i merdene. Dette gjør at oppdretteren kan ta en større risiko om han velger å sette ut all smolten på ett utsett, dersom tilgangen til anlegg og merder er begrenset. Prisisikoen øker også betraktelig om oppdretteren kun slakter en gang i året. Lakseprisen er utsatt for store prissvingninger og med kun et utsett vil prisen ved slaktetidspunkt være meget avgjørende for lønnsomheten. Denne type risiko kan oppdretteren redusere ved jevn slakting.

Det er mye som tyder på at en reguleringsendring vil påvirke produksjonsmønsteret i bransjen. Reguleringsendringen gjør det enklere for oppdretteren å utnytte den høye temperaturen på høsten, noe som kan resultere i større tilbud av fisk i tredje kvartal. Resultatet vi har presentert tidligere er under forutsetningen at prisen på laks er konstant gjennom året. En endring på tilbudssiden vil påvirke prisen. Økt tilbud av laks på høsthalvåret vil gi reduserte laksepriser i denne perioden, og tilsvarende økning i prisen på vårhalvåret. Dette vil videre føre til at flere oppdrettere ønsker å levere fisk i perioden hvor prisene er høye. Prisen vil gjøre at en løsning hvor det kun slaktes i tredje kvartal er lite sannsynlig. Slike markedskrefter trekker i retning en jevnere produksjon og en fordeling av fisk satt ut på våren og på høsten.

Behovet for arbeidskapital i bransjen er stor, og aktørene binder opp mye kapital i anlegg og biomassen de har stående i sjøen. Derfor er aktørene ofte avhengige av å slakte gjennom hele året for å få jevn tilgang til kapital. Behovet for kapital tilsier flere utsett og oftere slakting. En løsning hvor hele produksjonen blir lagt på høsten er derfor lite sannsynlig i virkeligheten. Behovet for en jevn tilgang på kapital gir oppdretterne incentiver til å utforme produksjonsplaner med jevn slakting.

Det er altså mye som tyder på at en selv med en gjennomsnittsbegrensning vil oppdretterne slakte jevnt gjennom året. Vi ønsker derfor å pålegge modellen en struktur slik at en må fordele smolten mellom de to utsettene. Dette for å få et bedre grunnlag når vi skal sammenligne med resultatene fra dagens MTB-regime.

5.2.4 Rullerende MTB med vår- og høstutsett

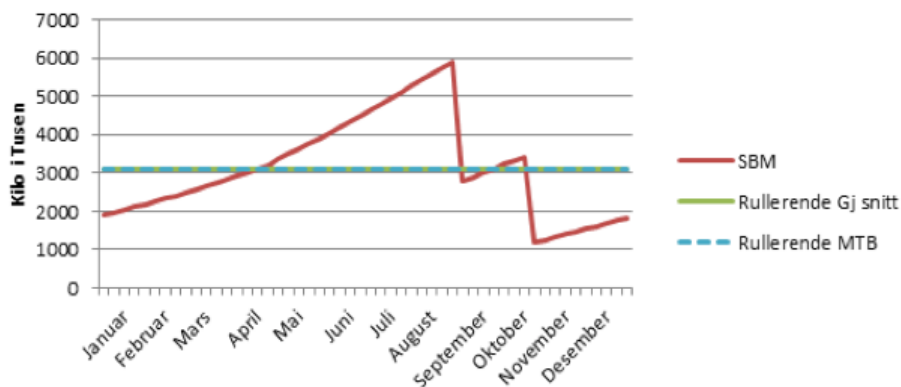
Vi vil nå pålegge modellen en struktur som gjør at en må sette ut fisk ved begge utsettene. Modellen tar ikke hensyn til faktorer som risiko, pris og behovet for kapital. Disse

faktorene tilsier at oppdretteren vil sette ut smolt flere ganger i året. Vi vil derfor undersøke hvordan oppdretteren vil tilpasse seg under et rullerende MTB-system, gitt at han må sette ut smolt både på våren og på høsten. Ved å pålegge denne strukturen vil vi også kunne få et bedre grunnlag når vi skal sammenligne de to reguleringene. Vi har lagt inn en begrensning i den numeriske modellen som gjør at minimum 45% av smolten må settes ut i begge utsettene. Dette tvinger modellen til å bruke både vår- og høstutsettet.

Resultatene for rullerende MTB når vi pålegger modellen en struktur hvor en må fordele smolten mellom de to utsettene er vist i tabell 5.4 og figur 5.5.

Tabell 5.4: Resultat rullerende MTB med vår- og høstutsett

Output			
	Vår	Høst	Gj. Snitt
Mnd i Sjø	16,0	13,4	14,7
Slakteuke	Uke 35	Uke 42	
NPV i millioner	418	242	661
Slaktet årlig tonn pr konsesjon	821	581	1 403
Fordeling Slaktet	59 %	41 %	
Slaktevekt	5 KG	3,9 KG	4,5 KG
Fordeling smolt	54 %	46 %	
Profitt pr fisk	13 KR	6 KR	10 KR
Profitt pr kilo	3 KR	2 KR	3 KR



Figur 5.5: Stående biomasse gjennom et år med vår- og høstutsett

Resultatene viser fortsatt en økning i stående biomasse i tredje kvartal. Oppdretterne setter ut fisk ved begge utsettene, men slakter fisken på samme tidspunkt på året. Det er mye som tyder på at en endring til gjennomsnitts-MTB øker slaktepresset på høsten.

Muligheten til å utnytte den gode veksten på høsten er årsaken til dette. Resultatene viser på samme måte som før vi la på strukturen om en fordeling av smolten mellom utsettene at stående biomasse ligger over gjennomsnittet i perioden april-september.

5.2.5 Oppsummering numeriske resultater

Sammenligner vi tilpasningen ved de to reguleringsystemene er det store forskjeller. Under dagens MTB-system er oppdretterne avhengig av å sette ut smolt flere ganger i løpet av året. For å kunne utnytte MTB-grensen må oppdretteren sørge for at stående biomasse til enhver tid trykker mot biomassegrensen. Oppdretteren er derfor avhengig av å ha fisk stående i sjøen gjennom hele året. Dette er med på å tvinge frem et slaktepress på sensommeren og høsten, da de høye havtemperaturene gir gode vekstvilkår for fisken. Ved et gjennomsnittlig MTB-system vil oppdretteren ha lettere for å utnytte produksjonsreguleringen. Selv ved utsett kun en gang i året vil han klare å utnytte begrensningen til det fulle. Muligheten til å ha stående mer biomasse i sjøen i perioden hvor havtemperaturene er høye gjør at oppdretteren i større grad kan utnytte den gode tilveksten på sensommeren og høsten. Hvor vidt det er optimalt med enten vår- eller høstutsett avhengig av hvor lenge fisken står i sjøen, og gjennomsnittstemperaturen. De numeriske resultatene viser at oppdretteren vil ha stående mer biomasse i sjøen i perioder hvor det er varmt i vannet, selv med en pålagt struktur hvor en må sette ut smolt både på våren og på høsten. Et gjennomsnittlig MTB-system tvinger ikke oppdretteren til å ha stående mye fisk i sjøen gjennom hele året. Andre faktorer som pris, risiko og behovet for arbeidskapital vil gi oppdretteren incentiver til jevnere produksjon, selv under den nye reguleringen.

Det er ingen tvil om at innføringen av et gjennomsnittlig MTB-system vil gi oppdretterne mulighet til å øke produksjonen. Den numeriske modellen gir klare indikasjoner på at produksjon ved gjennomsnitts-MTB er høyere enn ved nåværende MTB-system. Videre vil vi derfor se på hva den nye MTB-grensen må være for at reguleringsendringen ikke skal ha noen effekt på totalproduksjonen.

Kapittel 6

Reguleringens implikasjoner

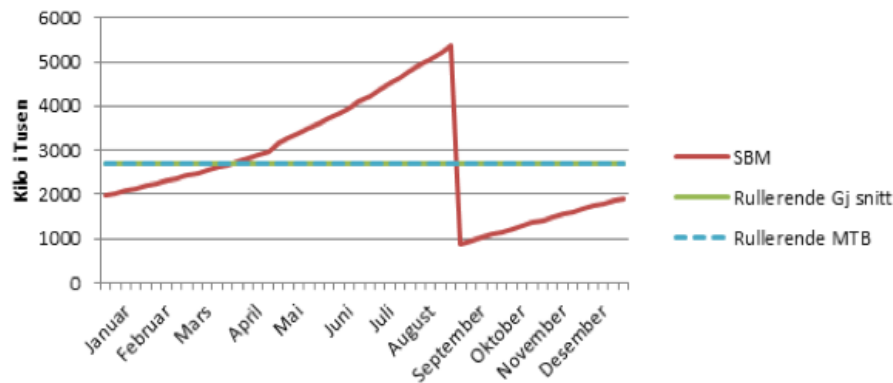
6.1 Den nye MTB-grensen

En reguleringsendring vil ha påvirkning på produksjonen. Et sentralt spørsmål vil være hva den nye MTB-begrensningen skal være om det innføres en gjennomsnittsløsning. MTB-reguleringen har som formål å begrense produksjonen. Det er derfor naturlig å undersøke hva den nye begrensningen må være for at reguleringsendringen ikke skal ha effekt på den totale produksjonen gjennom året.

For å svare på dette spørsmålet vil vi ta utgangspunktet i dagens produksjon. Det er stor forskjell på hva en oppdretter i teorien klarer å produsere per konsesjon og hva de faktisk produserer. En oppdretter klarer ikke å ligge på dagens MTB-grense til enhver tid med mindre han har kontinuerlig slakting og utsett. Biologiske forhold gjør at dette ikke er mulig. I høringsbrevet fra Fiskeri- og kystdepartementet vises det til produksjonstall utarbeidet av Kontali Analyse. Kontali Analyse har estimert potensiell produksjon under dagens MTB-regime til 1 350 tonn, mens det i dag produseres i snitt 1 131 tonn per konsesjon. Da oppdretterne i dag er et stykke unna potensiell produksjon ønsker vi å ta utgangspunktet i gjennomsnittsproduksjonen per konsesjon, 1 131 tonn, når vi gjennomfører analysen.

Et gjennomsnittlig MTB-system er betraktelig enklere for oppdretteren å utnytte. I den enkle, deterministiske, modellen vår klarer en å utnytte MTB-grensen i sin helhet (tross forenklingen som er foretatt). Dette skyldes muligheten til å ligge over MTB-grensen deler av året, som gjør at gjennomsnittlig MTB til enhver tid vil være lik begrensningen. Den numeriske modellen viser en produksjon på 1 301 tonn ved en gjennomsnittsbegrensning. En reguleringsendring vil altså føre til en produksjonsøkning siden oppdretterne lettere klarer å utnytte begrensningen. For å unngå dette må en redusere

den gjennomsnittlige MTB-grensen. Marginalverdien av å sette ut en ekstra fisk for oppdretterne er konstant. Derfor kan vi ved å holde slaktetiden (T_i) konstant, redusere antall smolt (N_0) til produksjon blir lik gjennomsnittsproduksjonen (1 131 tonn) beregne hva den nye MTB-grensen må være. Gjennomsnittlig biomasse de siste 12 månedene vil da måtte være lik den nye begrensingen. Resultatene fra den numeriske modellen er presentert i figur 6.1 og tabell 6.1.



Figur 6.1: Stående biomasse gjennom et år

Av figur 6.1 kan vi se at gjennomsnittlig biomasse for fire konsesjoner ligger på 2 712 tonn. Dette tilsvarer 678 tonn per konsesjon. Dagens regulering sier at en ikke kan ha stående mer enn 780 tonn per konsesjon. Våre beregninger viser dermed at en må redusere dagens begrensning med ca 13% for å oppnå samme produksjon som under dagens system.

Tabell 6.1: Output Rullerende MTB

Output	Vår	Høst	Gj. Snitt
Mnd i Sjø	16,0	12,0	14,0
Slakteuke	Uke 35	Uke 36	
NPV i millioner	576	0	576
Slaktet årlig tonn pr konsesjon	1 131	0	1 131
Fordeling Slaktet	100 %	0 %	
Slaktevekt	5 KG	0,0	5 KG
Fordeling smolt	100 %	0 %	
Profitt pr fisk	13 KR		13 KR
Profitt pr kilo	3 KR		3 KR

Fra tabell 6.1 ser vi at produksjon per konsesjon er 1 131 tonn, som er lik dagens gjennomsnittsproduksjon. Smoltfordeling, antall måneder i sjø og slaktevekt er identisk

med resultatene presentert i optimal tilpasning under rullerende MTB (se tabell 5.3). Dette betyr at den optimale tilpasningen vi har funnet tidligere fortsatt vil være den samme.

6.2 Positiv effekt på oppdretterens likviditet

Det kan også tenkes at en overgang til et rullerende MTB-system har positive effekter på oppdretterens likviditet. Flexibiliteten den nye reguleringen innebærer gjør at oppdretteren kan slakte fisken om det skulle bli behov for kapital, uten store konsekvenser på utnyttelsen av MTB begrensningen. Med dagens regulering kan tvangsslakting grunnet likviditetsproblemer føre til at oppdretteren blir liggende langt under MTB-grensen i en lengere periode, noe han vanskelig kan hente inn igjen senere.

6.3 Verdien av en konsesjon

Et rullerende gjennomsnittlig MTB system vil gi større fleksibilitet for oppdretterne. Den numeriske modellen viser tydelig hvordan det er lettere for en mindre oppdretter å utnytte det rullerende MTB systemet tilnærmet optimalt fremfor dagens MTB system. Dette vil føre til at særlig en mindre oppdretter, med færre lokaliteter og anlegg å spre produksjonen over, får mer ut av en konsesjon enn tidligere. Stordriftsfordelene vil dermed reduseres. En vanlig betingelse for å få tildelt en ny konsesjon er lokal forankring. De større aktørene får typisk ikke tildelt slike konsesjoner fordi de ikke oppfyller dette kravet. De er tvunget til å kjøpe konsesjoner fra andre aktører. På grunn av dagens MTB-regime kan en konsesjon ha større verdi for en aktør som allerede har flere konsesjoner. Det nye MTB-system vil kunne redusere denne forskjellen, og de mindre aktørene vil kreve en større betaling for å selge konsesjonene. Dette igjen kan bety at trenden i bransjen, som har vært en endring mot færre og større aktører, kanskje vil bremse.

Alle stordriftsfordelene vil ikke forsvinne. Det vil fortsatt være slik at en større aktør vil ha lettere for å utnytte konsesjonen optimalt og være mindre utsatt for prissvingninger, sykdom og lus. Risikoen er ofte høyere for en mindre aktør noe som vil føre til at nåverdien av en konsesjon vil kunne være lavere enn for en større aktør.

6.4 Miljøkonsekvenser

Den nye reguleringen gir oppdretteren mulighet til å ha mer biomasse stående i sjøen enkelte deler av året. Mye kan tyde på at det i tredje kvartal vil bli stående mer biomasse

i sjø enn hva vi ser under dagens regime. Dette vil føre til økt belastning på lokalitetsnivå. Dette økte presset vil øke risikoen for utbrudd og spredning av sykdom og bedre vekstforhold for lakselus. Samtidig vil dette økte presset også redusere vannkvaliteten gitt at tilgangen på gode lokaliteter er knapp. Blir vannkvaliteten tilstrekkelig redusert vil det slå ut på veksthastigheten og kvaliteten på fiskefileten.

Kapittel 7

Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalysen gjennomføres for å gi oss en indikasjon på hvordan våre konklusjoner hadde blitt endret ved valg av andre parameterverdier i den numeriske modellen. Vi har valgt å undersøke hvordan en 10 prosent økning og en 10 prosent reduksjon av relevante parametere påvirker modellens resultater. Vi mener det er hensiktsmessig å gjøre en sensitivitetsanalyse på parametere det er knyttet størst usikkerhet til. Vi kan dele parameterene det er knyttet usikkerhet til inn i to grupper. De som er knyttet til biologiske forhold og de som er knyttet til markedsmessige forhold.

De mest betydningsfulle parameterne som påvirker biologiske forhold påvirker enten veksten til fisken eller fiskens sannsynlighet for å overleve. I matematiske termer betyr det at vi har parametere som enten påvirker $W(t)$ eller M . Vi velger å se på hvordan endret temperaturmønster (a) og anleggsspesifikke forhold (K) vil påvirke veksten ($W(t)$). Vi har også gjort en sensitivitetsanalyse av hvordan en endring av M vil påvirke resultatene.

Av variablene som er knyttet til markedsmessige forhold har vi vakt å se på pris (p), smoltkostnad (C_s) og førkostnad (C_f). Siden en endring i slaktekostnadene (C_p) vil påvirke optimal tilpasning på samme måte som smoltkostnaden, har vi valgt å utelukke denne fra sensitivitetsanalysen. Sensitivitetsanalysen er oppsummert i tabell 7.1 og 7.2:

Tabell 7.1: Sensitivitetsanalyse MTB

Sensitivitetsanalyse MTB				
	T ^v	T ^h	Andel smolt Vår	Andel smolt Høst
Opprinnelig	1,33	1,56	52 %	48 %
a=0,055	1,33	1,58	52 %	48 %
a=0,045	1,33	1,54	51 %	49 %
K=1,056	1,23	1,27	40 %	60 %
K=0,864	1,45	1,74	58 %	42 %
C ^s =16,5	1,41	1,64	50 %	50 %
C ^s =13,5	1,33	1,56	52 %	48 %
C ^f =0,0121	1,41	1,64	50 %	50 %
C ^f =0,0099	1,25	1,37	46 %	54 %
M=0,11	1,33	1,54	50 %	50 %
M=0,09	1,33	1,57	52 %	48 %
P=31,9	1,23	1,35	46 %	54 %
P=26,1	1,48	1,73	54 %	46 %

Tabell 7.2: Sensitivitetsanalyse Rullerende MTB

Sensitivitetsanalyse Rullerende MTB				
	T ^v	T ^h	Andel smolt Vår	Andel smolt Høst
Opprinnelig	1,33	0,00	100 %	0 %
a=0,055	1,35	0,00	100 %	0 %
a=0,045	1,33	0,00	100 %	0 %
K=1,056	0,00	1,10	0 %	100 %
K=0,864	1,40	0,00	100 %	0 %
C ^s =16,5	1,37	0,00	100 %	0 %
C ^s =13,5	0,00	1,12	0 %	100 %
C ^f =0,0121	1,37	0,00	100 %	0 %
C ^f =0,0099	0,00	1,12	0 %	100 %
M=0,11	1,33	0,00	100 %	0 %
M=0,09	1,33	0,00	100 %	0 %
P=31,9	0,00	1,08	0 %	100 %
P=26,1	1,40	0,00	100 %	0 %

7.1 Temperatur

Temperaturen har stor innvirkning på fiskens vekst. Som nevnt er temperatur den absolutt største kilden til risiko i produksjonen, og den er ikke kontrollerbar ettersom oppdrettsanleggene er åpne fasiliteter. Fisken oppnår den høyeste veksthastigheten rundt 15 grader (Thorarensen & Farrell, 2011). Øker temperaturen over dette vil fiskens vekst avta. Den optimale temperaturen for vekst vil også øke noe etter hvert som fisken blir større, mens førfaktoren vil redusere pga. biologiske faktorer.

Parameteren a avgjør hvor stor påvirkning sesongfaktoren har på veksten til fisken. En økning i a vil i praksis tilsvare høyere maksimumstemperaturer og lavere minimumstemperaturer. Det betyr at gevinsten av å ha mye fisk i sjøen når det er varmt i vannet blir større enn tidligere.

Som vi ser av tabellen vil en endring av a med 10 prosent ikke ha den store innvirkningen på optimal tilpasning, verken under dagens MTB-system eller under et rullerende MTB-system.

7.2 Anleggsspesifikke forhold

Fiskens veksttakt påvirkes blant annet av vannkvalitet, fisketettheten, lysforhold, føring og sykdom. Vannkvaliteten avgjøres av oksygentilførsel, saltnivå, PH-verdi, vannets innhold av ammoniakk og karbondioksid (CO_2). Det er oppdrettsanleggets lokalitet som avgjør hvor god vannkvaliteten er. Anleggets lokalitet er som regel et sted der vannkvaliteten er innenfor akseptable verdier, ellers ville den ikke blitt godkjent for oppdrett.

Parameteren K påvirker veksttakten og hvor lang tid det tar før fisken når sin maksimalvekt. En endring av K med 10 prosent har relativt stor påvirkning på modellens output. Under nåværende MTB-system fører en økning av K på 10 prosent til at fisken står 12 prosent kortere i havet uten at slaktevekten reduseres nevneverdig. Modellen øker også prioriteringen av høstutsettet, ved at 60 prosent av smolten nå settes ut på høsten under dagens MTB-begrensning. Dette skyldes at den økte veksttakten (økt K) endrer slaktetidspunktet. Slaktetidspunktetene avgjør hvilket utsett som har høyest gjennomsnittlig veksthastighet. I dette tilfellet får vårutsettet kun en periode med høy temperatur, mens høstutsettet får nesten to hele perioder. Dermed gir høstutsettet en høyere avkastning i form av høyere vekst. For en reduksjon av K med 10 prosent blir resultatet motsatt. Slaktetidspunktet blir forskjøvet og det er nå vårutsettet som får de høyeste temperaturene gjennom sin periode i sjøen ettersom vårutsettet slaktes på senhøsten. Derfor blir nå vårutsettet prioritert ved at det er optimalt å sette ut 58 prosent av smolten på våren.

Resonnementet brukt over gjelder også for resultatene av hvordan en endring av K påvirker modellens resultat under et rullerende MTB-system. I utgangspunktet har vi at vårutsettet gir størst avkastning, derfor prioriteres dette utsettet. Siden det er mulig å utnytte et rullerende MTB-system optimalt med kun et utsett (sett bort fra praktiske hensyn) settes 100 prosent av smoltene ut på våren. Det er dette som gir høyest nåverdi. Øker vi K med 10 prosent vil det gå raskere å få fisken opp til slaktbar størrelse, dermed blir tiden i sjøen redusert. At tiden reduseres gjør høstutsettet mer lukrativt. Høstutsettet vil nå oppleve to perioder med høy temperatur i vannet, mens vårutsettet kun vil få en. Dermed skifter modellene over på høstutsettet og setter således ut all smolten på høsten. En reduksjon av K med 10 prosent vil øke tiden i sjøen, men det vil ikke endre hvilke av utsettene som er det som gir best vekstvilkår. Uansett K vil det være optimalt å sette ut all fisk enten på våren eller på høsten ved rullerende MTB-regimet.

7.3 Tap av fisk

Tap av fisk påvirkes av dødelighet, sykdom og rømming. Sykdom kan enten føre til lavere vekst enn normalt, lavere kvalitet på laksen eller økt dødelighet. I gjennomsnitt skjer 80 prosent av dødeligheten før fisken er 0,5 kg. Årsakene til dødelighet er deformering, skader i forbindelse med transport og utsett eller at fisken ikke takler overgangen til saltvann. Under saltvannsproduksjon er det en stor risiko for sykdommer og parasitter som kan gjøre at fisken får redusert vekst, kvalitet eller økt dødelighet.

Av tabell 7.1 og 7.2 ser vi at en endring i dødlighetsraten, M , ikke vil påvirke optimalt slaktidspunkt. Økt dødelighet vil kun føre til at oppdretteren må sette ut fler smolt ved begge utsettene, fordelingen mellom utsettene vil være den samme.

7.4 Smoltkostnad

Prisen oppdretterne må betale for smolten er bestemmes i et åpent markedet og vil være utsatt for prissvingninger. Under det rullerende MTB-systemet vil en økning av smoltkostnaden, C_s , på 10 prosent kun føre til en økning av tiden i sjøen for vårutsettet. Denne endringen kan forklares med at oppdretteren får en større oppstartskostnad for hvert utsett, og har derfor mer å tjene ved å ha færre fisk som står lengre i sjøen. Samme logikk følger for resultatet av en 10 prosent reduksjon av smoltkostnaden. Når smolt blir billigere settes flere fisk ut og tiden det er optimalt å la fisken stå i sjøen reduseres. Dermed blir høstutsettet mer lukrativt enn vårutsettet. Høstutsettet vil ha bedre vekstforhold på grunn av høyere temperatur i den perioden utsettet står i sjøen. Derfor er det nå optimalt

å sette ut 100 prosent av smolten på høsten.

Som forklart over har oppdretterne en gevinst av å la fisken stå lengere i sjø om smoltkostnadene øker. Dette gjelder også under nåværende MTB-system. Derfor ser vi en reduksjon i tiden laksen står i sjøen når smoltkostnaden reduseres, og en økning av tiden fisken står i sjøen når smoltkostnaden øker. Prioriteringen over utsettene vil ikke endres.

7.5 Fôrkostnad

Fôrprisen bestemmes i et åpent marked og er i stor grad påvirket av prisen på de to hovedingrediensene fiskemel og fiskeolje. Fiskemel og fiskeolje produseres av vill fisk, bestanden og fagsten av vill fisk varierer fra år til år, derfor er det stor volatilitet i tilbudet av fiskemel og fiskeolje. Endringer på etterspørselsiden kan også føre til prissvigninger. På grunn av denne volatiliteten vil også prisene på fiskefôr variere.

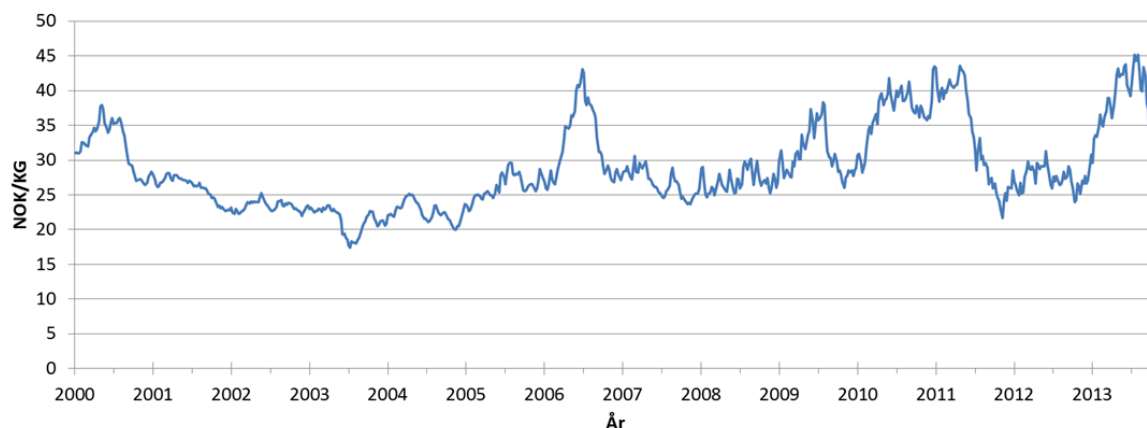
Under et rullerende MTB-system vil resultatet av en 10 prosent reduksjon i fôrprisen (C_f) være at oppdretteren går fra å sette ut all smolten på våren til å sette ut all smolten på høsten. En mindre fôrkostnad gjør at gevinsten av å la fisken stå i sjøen reduseres. Dette skyldes to ting. For det første blir verdien av å utsette kostnadene mindre fordi selve kostnaden blir redusert. Videre vil lavere fôrkostnad gjøre det mer lønnsomt å sette ut flere fisk. Således vil det være optimalt å redusere tiden laksen står i sjøen. Dette i sin tur vil gjøre at høstutsettet blir det utsettet med den høyeste gjennomsnittlige veksttakten og derfor er det utsettet som prioriteres.

En økt fôrkostnad vil, basert på samme argumentasjon som over, øke tiden det er optimalt å la laksen stå i sjøen. Dette vil ikke endre prioriteringen over høst- og vårutsett: vårutsettet har fremdeles den høyeste gjennomsnittlige veksttakten og derfor settes all smolten ut på våren.

Samme argumentasjon kan fremføres for dagens MTB-system. En økt fôrkostnad (C_F) vil gi en større gevinst av å utsette slaktingen, dermed vil T^i øke når C_f øker og *vice versa*.

7.6 Pris

Vi ser av figur 7.1 at lakseprisen fluktuerer betydelig. I denne tidsserien som starter i år 2000 og går til og med uke 42 i år varierer lakseprisen mellom 17,5 kroner og 45 kroner. De store variasjonene i lakseprisen kan forklares gjennom både forhold på tilbuds- og etterspørselssiden. Den totale mengden laks tilgjengelig i markedet vil i stor grad bestemme prisen. Alt annet likt vil en reduksjon i tilgjengelig laks føre til en økning i prisen, fordi oppdretteren ikke umiddelbart kan erstatte solgt fisk da produksjonstiden er 2 til 3 år. På den andre siden vil en økning av tilgjengelig fisk føre til en reduksjon i prisen, da oppdretteren sjeldent har mulighet til å la fisken bli stående i sjøen i påvente av høyere pris mye på grunn av MTB-begrensningen (Oglend & Sikveland, 2008). Tross stor pris variasjon er det lite oppdretterne kan gjøre for å dra nytte av disse på grunn av den lange produksjonstiden. Det blir derfor lagt lite vekt på prisutviklingen når de legger de langsiktige produksjonsplanene. I stedet er fokuset til oppdrettsselskapene å oppnå en jevn levering av fisk til markedene for å unngå store sesongsvingninger i prisen, samt å holde produksjonskostnadene lave. Det er også vanlig å selge fisken på langsiktige kontrakter hvor prisen typisk er satt 6-12 måneder frem i tid. Dette for å redusere risikoen knyttet til prissvingninger.



Figur 7.1: Laksepris

En økning av p med 10 prosent vil føre til at fisken slaktes tidligere. Det er nå optimalt for oppdretteren å slakte fisken tidligere for så å erstatte fisken med mindre fisk som vokser fortere. Dette gjelder både under nåværende MTB-system og under et rullerende MTB-system. Siden T^i reduseres vil høstutsette nå være det utsette som gir best vekst på grunn av de gunstige temperaturforholdene. Dette gjør at høstutsettet blir prioritert og all fisken blir satt ut på høsten.

Reduserer vi p med 10 prosent vil vi få motsatt effekt, oppdretterne må la fisken bli stående i sjøen lengere for å oppnå optimal slaktevekt. Dermed økes T^i . Vårutsette er fortsatt det utsette som gir best vekstforhold og dermed blir det satt ut mest smolt på våren. Under det rullerende MTB-systemet settes all smolten ut på våren da dette er mest lønnsomt.

Den numeriske modellen åpner for å legge inn relative priser. Effekten av å inkludere relative priser er at det nå er optimalt med større fisk siden dette gir en høyere kilopris. Gitt at det ikke allerede er optimalt å produsere fisk i den tyngste vektklassen vil det nå være større incentiver til å produsere større fisk. Modellen vil trekke mot å øke T^i , noe som betyr redusert N_0^i . Dette gjelder både for det rullerende MTB-systemet og under nåværende regulering. [Asche & Guttormsen \(2001\)](#) påpeker at det ikke er mulig å si noe generelt om at en større fisk gir en høyere kilopris enn en liten, siden de relative prisene vil variere gjennom året. Det er biologiske faktorer som gjør at det gjennom året er varierende tilbudt kvantum i de forskjellige vektklassene, og således vil prisen fluktuere. Modellen vår har ikke rom for tidsbestemte relative priser. Vi vil derfor ikke se nærmere på dette tilfellet.

7.7 Oppsummering av sensitivitetsanalysen

Ut i fra sensitivitetsanalysen kan vi konkludere med at denne oppgavens resultat er lite følsomme for endringer i parameterne, og vi mener derfor at våre konklusjoner ikke er betinget på valg av parameterverdier. Sensitivitetsanalysen viser at endringer i parameterverdiene fører til minimale endringer på tilpasningen under nåværende MTB-begrensning. Analysen bekrefter også at det enten er optimalt å kun sette ut fisk på våren eller på høsten ved rullerende MTB.

Kapittel 8

Konklusjon

Oppdretteren har som mål å maksimere sin profitt. Det nåværende biomassetaket gir oppdretterne inc entiver til å holde en jevnere biomasse enn hva den naturlige syklusen skulle tilsi for å nå dette målet. I noen perioder vil det slaktes mer enn andre, dette gjelder særlig i tredje kvartal. Er temperaturen høyere enn forutsett vil biomassen øke så fort at oppdretterne må slakte laksen for ikke å overstige dagens MTB-begrensning. Til tross for denne tvangsslaktingen er slaktevolumet relativt jevnt fordelt gjennom året.

Temperaturvariasjonen gjennom året skaper den naturlige syklusen, oppdretteren er tjent med å ha mest mulig biomasse stående i sjøen når veksten er best. Det rullerende MTB-system som er omtalt i denne oppgaven vil gi oppdretteren økt fleksibilitet. Fleksibiliteten vil gi oppdretterne mulighet til å utnytte sesongvariasjonene i større grad enn under dagens MTB-system. Utnyttelse av sesongvariasjonene innebærer å designe produksjonsplanene slik at de har mest mulig fisk stående i sjøen i tredje kvartal når vekstforholdene er som best. Dette betyr at det er optimalt å minimere stående biomasse de resterende kvartalene. Resultat vil være en konsentrasjon av stående biomasse i tredje kvartal, dette kommer klart frem av vår analyse. En naturlig følge og en betingelse for biomassekonsentrasjonen er at slaktevolumet vil være større i denne perioden. En annen konsekvens er økt belastningen på lokalitetsnivå. Dette økte presset vil øke risikoen for sykdomsutbrudd og bedre vekstforholdene for lakselus. Samtidig vil vannkvaliteten reduseres noe som kan påvirke laksens veksthastighet og kvalitet.

De fordelene som et rullerende MTB-system medbringer kan virke til å i større grad tilfalle de mindre aktørene. Som vår numeriske modell illustrerer vil det være lettere for en mindre oppdretter å utnytte et rullerende MTB-system. Stordriftsfordelene vil kunne reduseres og de mindre aktørene vil trolig få økt lønnsomhet. Likviditetssituasjonen i nyoppstartede og mindre oppdrettsselskap er ofte krevende. Mange oppdrettere er nødt til å ta hensyn til likviditetssituasjonen i selskapet når de designer produksjonsplanene.

Under dagens regime må de ofte tilpasse seg suboptimalt for å møte likviditetsbehovet. Med et rullerende MTB-system vil de få en større grad av fleksibilitet og dermed kan de finne en mer optimal produksjonsplan som samtidig dekker likviditetsbehovene.

Det er mye som tyder på en produksjonsøkning hvis det blir innført et rullerende gjennomsnittlig MTB-system med samme begrensning som i dag. Fleksibiliteten vil gjøre det lettere å tilpasse seg optimalt og dermed vil produksjonen øke. I 2012 ble det i gjennomsnitt produsert 1 131 tonn per konsesjon. For å unngå produksjonsøkningen må den rullerende gjennomsnittlige MTB-begrensningen reduseres. Våre analyser viser at det er nødvendig med en reduksjon på ca 13 prosent for å unngå en produksjonsøkning.

I høringsbrevet fra Fiskeri- og kystdepartementet kommer formålet med det foreslåtte rullerende gjennomsnittlige MTB-systemet klart frem, ”Formålet med høringsforslaget er å bidra til en mer industriell og markedsrettet produksjon i lakse- og ørretoppdrettsnæringen som er preget av store sesongmessige svingninger” (FKD, 2013). Mye tyder på at en eventuell reguleringsendring vil virke mot sitt formål.

Tillegg A

Appendiks

A.1 Variabelliste

$W(t)$, Vekstfunksjonen

N_0 , Antall smolt satt ut i sjøen

M , Dødlighetsparameter. Andel av fisk som dør, år som basis for beregning

T^i , Slaktetidspunkt for vår- eller høstutsett, $i = V, H$

N_0^i , Antall smolt satt ut for vår- eller høstutsett, $i = V, H$

β , Tiden mellom vårutsett og høstutsett

s_i , $i = H, V$, Rotasjonsnummer spesifisert for utsett

B^F , Stående biomasse

B^R , 12 Måneder gjennomsnittlig stående biomasse

\bar{B}^F , Maksimalt tillatt biomasse

\bar{B}^R , Rullerende maksimalt tillatt biomasse

t , Tid

p , Pris per kilo

C_S , Innkjøpsprisen pr. smolt

C_P , Slaktekostnad fordelt over antall fisk som slaktes

C_F , Innkjøpsprisen pr. kilogram fôr

r , Avkastningskrav

a , Betydningen av sesongsvingningene

W_∞ , Maksimal vekt en laks kan oppnå

K , Anleggspesifikk faktor, avgjør hvor lang tid det tar før laksen når sin maksimalvekt

W_{t0} , Smoltstørrelse ved utsett

S_m , Sesongfaktoren

π_i , Nåverdien av et uendelig antall vår- eller høstutsett, $i = V, H$

Π , Total profitt, summen av π_V og π_H

A.2 Derivasjon

I dette kapittelet finnes de deriverte av relevante funksjoner brukt i oppgaven. Derivasjonene er gjennomført for å lære mer om funksjonene og deres form.

Vi har skrevet om til π_i til π_i^m da vi mener dette er mest hensiktsmessig:

$$\pi_V^m = \frac{\pi_V(e^{rT_V} - 1)}{e^{rT_V}} \quad (\text{A.1})$$

$$\pi_H^m = \frac{\pi_H(e^{r(1-\beta)}(e^{rT^H} - 1))}{e^{r(T_H+1-\beta)}} \quad (\text{A.2})$$

A.2.1 Derivasjon 1

$$\frac{d\pi_H^m}{dT^H} = \left(p \frac{dw(T^H)}{dT^H} - pw(T^H)(M+r) + C_p(M+r) - C_f f \frac{dw(T^H)}{dT^H} \right) N_0^H e^{-MT^H} e^{-r(T^H+1-\beta)} \geq 0 \quad (\text{A.3})$$

$$\frac{d\pi_H^m}{dN_0^H} = (pw(T^H) - C_p) e^{-MT^H} e^{-r(T^H+1-\beta)} - \int_0^{T^H} C_f f \frac{dw(u)}{du} e^{-Mu} e^{-r(u+1-\beta)} du - C_s e^{-r(1-\beta)} \geq 0 \quad (\text{A.4})$$

$$\frac{d\pi_V^m}{dT^V} = \left(p \frac{dw(T^V)}{dT^V} - pw(T^V)(M+r) + C_p(M+r) - C_f f \frac{dw(T^V)}{dT^V} \right) N_0^V e^{-(M+r)T^V} \geq 0 \quad (\text{A.5})$$

$$\frac{d\pi_V^m}{dN_0^V} = (pw(T) - C_p) e^{-(M+r)T^V} - \int C_f f \frac{dw(u)}{du} e^{-(M+r)u} du - C_s \geq 0 \quad (\text{A.6})$$

$$\frac{dB^F(t, N_0^V, N_0^H)}{dN_0^V} = w(t - S_V + 1) e^{-M(t-S_V+1)} + w(t - S_V) e^{-M(t-S_V)} \geq 0 \quad (\text{A.7})$$

$$\frac{dB^F(t, N_0^V, N_0^H)}{dN_0^H} = w(t-S_H+(2-\beta))e^{-M(t-S_H+(2-\beta))} + w(t-S_H+(1-\beta))e^{-M(t-S_H+(1-\beta))} \geq 0 \quad (\text{A.8})$$

$$\begin{aligned} \frac{dw_i(t)}{dt} = 3w_\infty \left(1 + \left(\left(\frac{w_{t_0i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right)^2 & \left(\left(\left(\frac{w_{t_0i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right) \\ & \left(-K(1-as_m + at \frac{ds_m}{dt} - at_0 \frac{ds_m}{dt}) \right) \end{aligned} \quad (\text{A.9})$$

$$\frac{dw_i(t)}{dt} \geq 0 \quad (\text{A.10})$$

A.2.2 Derivasjon 2

$$\begin{aligned} \frac{d^2\pi_H^m}{(dT^H)^2} = \left(p \left(\frac{d^2w(T^H)}{(dT_H)^2} - 2 \frac{dw(T^H)}{dT_H} (M+r) \right) + C_P (M+r)^2 \right. \\ \left. - C_f f \left(\frac{dw(T^H)}{dT_H} (M+r) + \frac{d^2w(T^H)}{(dT_H)^2} \right) \right) N_0^H e^{-T^H(M+r)-r(1-\beta)} \end{aligned} \quad (\text{A.11})$$

$$\frac{d^2\pi_H^m}{(dN_0^H)^2} = 0 \quad (\text{A.12})$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2\pi_V^m}{(dT^V)^2} = \left(p \left(\frac{d^2w(T^V)}{(dT_V)^2} - 2 \frac{dw(T^V)}{dT_V} (M+r) \right) + C_P (M+r)^2 \right. \\ \left. - C_f f \left(\frac{dw(T^V)}{dT_V} (M+r) + \frac{d^2w(T^V)}{(dT_V)^2} \right) \right) N_0^V e^{-T^V(M+r)} \end{aligned} \quad (\text{A.13})$$

$$\frac{d^2\pi_V^m}{(dN_0^V)^2} = 0 \quad (\text{A.14})$$

$$\frac{d^2B^F(t, N_0^V, N_0^H)}{(dN_0^V)^2} = 0 \quad (\text{A.15})$$

$$\frac{d^2B^F(t, N_0^V, N_0^H)}{(dN_0^H)^2} = 0 \quad (\text{A.16})$$

$$\begin{aligned}
\frac{d^2 w_i(t)}{(dt)^2} &= 6w_\infty \left(1 + \left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right) \left(\left(\left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right) \right. \\
&\quad \left. \left(-K(1 - as_m + at \frac{ds_m}{dt} - at_0 \frac{ds_m}{dt}) \right) \right)^2 + \left(\left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right) \\
&\quad \left(-K(1 - as_m + at \frac{ds_m}{dt} - at_0 \frac{ds_m}{dt}) \right)^2 + \left(-K \left(at \frac{d^2 s_m}{(dt)^2} - at_0 \frac{d^2 s_m}{(dt)^2} \right) \right) \\
&\quad \left(\left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right)^2 \left(1 + \left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right)^2
\end{aligned} \tag{A.17}$$

$$\begin{aligned}
\frac{d^2 \pi_H^m}{(dT^H)^2} &= \left(p \left(\frac{d^2 w(T^H)}{(dT_H)^2} - 2 \frac{dw(T^H)}{dT_H} (M+r) \right) + C_P (M+r)^2 \right. \\
&\quad \left. - C_f f \left(\frac{dw(T^H)}{dT_H} (M+r) + \frac{d^2 w(T^H)}{(dT_H)^2} \right) \right) N_0^H e^{-T^H(M+r)-r(1-\beta)}
\end{aligned} \tag{A.18}$$

$$\frac{d^2 \pi_H^m}{(dN_0^H)^2} = 0 \tag{A.19}$$

$$\begin{aligned}
\frac{d^2 \pi_V^m}{(dT^V)^2} &= \left(p \left(\frac{d^2 w(T^V)}{(dT_V)^2} - 2 \frac{dw(T^V)}{dT_V} (M+r) \right) + C_P (M+r)^2 \right. \\
&\quad \left. - C_f f \left(\frac{dw(T^V)}{dT_V} (M+r) + \frac{d^2 w(T^V)}{(dT_V)^2} \right) \right) N_0^V e^{-T^V(M+r)}
\end{aligned} \tag{A.20}$$

$$\frac{d^2 \pi_V^m}{(dN_0^V)^2} = 0 \tag{A.21}$$

$$\frac{d^2 B^F(t, N_0^V, N_0^H)}{(dN_0^V)^2} = 0 \tag{A.22}$$

$$\frac{d^2 B^F(t, N_0^V, N_0^H)}{(dN_0^H)^2} = 0 \tag{A.23}$$

$$\begin{aligned}
\frac{d^2 w_i(t)}{(dt)^2} = & 6w_\infty \left(1 + \left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right) \left(\left(\left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right) \right. \\
& \left. \left(-K(1 - as_m + at \frac{ds_m}{dt} - at_0 \frac{ds_m}{dt}) \right) \right)^2 + \left(\left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right) \\
& \left(-K(1 - as_m + at \frac{ds_m}{dt} - at_0 \frac{ds_m}{dt}) \right)^2 + \left(-K \left(at \frac{d^2 s_m}{(dt)^2} - at_0 \frac{d^2 s_m}{(dt)^2} \right) \right) \\
& \left(\left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right)^2 3w_\infty \left(1 + \left(\left(\frac{w_{t_0 i}}{w_\infty} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) e^{-K(1+as_m)(t-t_0)} \right)^2
\end{aligned} \tag{A.24}$$

A.2.3 Tolkning av de deriverte

Antar vi at a er satt slik at $\frac{dw_i(t)}{dt} > 0$ vil den deriverte av profittfunksjonen (ligning 3.16) med hensyn på både N_0^i og T^i være større enn null. Det betyr at profitten alltid er økende i N_0^i og T^i .

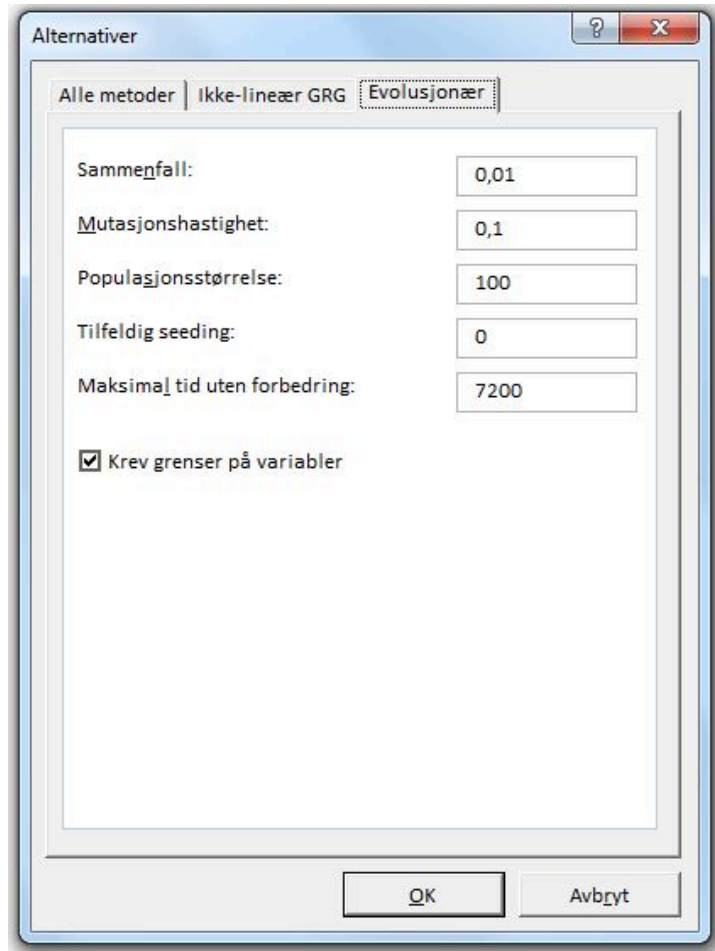
Den dobbeltderivert av profittfunksjonen (ligning 3.16) med hensyn på N_0^i gir oss funksjonene A.4 og A.6. Begge disse er lik null, $\frac{d^2 \pi_i^m}{(dN_0^i)^2} = 0$. At den er lik null betyr at margineffekten på profitten av å øke N_0^i er konstant. Det er dermed like lønnsomt å øke antall smolt fra 9 til 10 som fra 99 til 100.

Dobbeltdervierer vi profittfunksjonen (ligning 3.16) med hensyn på T^i får vi funksjonene A.11 og A.13. Det er ikke mulig å si noe generelt om fortegnet til disse funksjonene. Den er konkav for noen T^i og konveks for andre, $\frac{d^2 \pi_i^m}{(dT^i)^2} \gtrless 0$.

A.3 Problemløserens spesifikasjoner

Modellen er i utgangspunktet satt opp med disse innstillingene for ”Problemløseren”:

Dette innebærer at modellen vil fortsette å søke i 2 timer selv om den ikke finner bedre løsninger for deretter å stoppe. Sammenfall forteller ”Problemløseren” hvor små endringene i objektivfunksjonen skal være før den gir beskjed om at den ”konvergerer mot følgende løsning”, en lavere verdi her vil føre til at modellen bruker lengere tid men også økt nøyaktighet. Mutasjonshastighet er et tall mellom 0 og 1, der et høyere tall innebærer større grad av diversitet i populasjonen av løsninger som blir undersøkt. Øker en mutasjonshastigheten øker sannsynligheten for at optimal løsning blir funnet, samtidig som



Figur A.1: Instillinger "Problemløser"

tiden "Problemløser" bruker på å finne optimal løsning også øker. Populasjonsstørrelse er et tall mellom 10 og 200, der et større tall betyr at sannsynligheten for at "Problemløseren" undersøker en diversifisert løsningsmengde øker. Økt populasjonsstørrelse fører også til at modellen bruker lengere tid. Tilfeldig seeding avgjør hva utgangspunktet for søket "Problemløser" foretar skal være. Er denne satt til null vil "problemløseren" velge et tilfeldig utgangspunkt for å starte søket etter den optimale løsningen.

Når meldingen "Problemløser har konverget til følgende løsning" vises kan det bety to ting. Enten har "Problemløser" funnet en løsning som ligger veldig nær den globale optimale løsningen (hvor nær avhenger av "sammenfall", se forrige avsnitt), nye løsninger som blir tatt inn i løsningsmengden vil da samle seg rundt denne optimale løsningen. Eller så kan meldingen bety at populasjonen av løsninger som undersøkes har mistet sin diversitet og er således ikke i stand til å genererer en ny og bedre løsning gjennom mutasjon og krysninger av eksisterende løsninger, dette er et vanlig problem i evolusjonære algoritmer. Hvis så er tilfellet bør modellen kjøres på nytt med økt populasjonsstørrelse og muta-

sjonshastighet, noe som vil øke sannsynligheten for en diversifisert populasjon, og derfor undersøke en større del av løsningsmengden. Her må en påregne noe lenger løsningstid. Gir "Populasjonsrapportene" tilnærmet den samme løsningen ved begge kjøringene, samt lave standardavvik, kan en med stor sikkerhet si at en har en løsning som ligger veldig nærme den globale optimale løsningen.

Bibliografi

- Arnason, R. (1990). *Optimal feeding schedules and harvesting time in aquaculture*. University of Iceland, Faculty of Economics and Business Administration.
- Asche, F. & Guttormsen, A. G. (2001). Patterns in the relative price for different sizes of farmed fish. *Marine Resource Economics*, 16(3), 235–248.
- Bjørndal, T. (1988). Optimal harvesting of farmed fish. *Marine Resource Economics*, 5, 139–159.
- Faustmann, M. (1849). Berechnung des wertes welchen waldboden sowie noch nicht haubare holzbestände für die waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst-und Jagd-Zeitung*, 15, 7–44.
- FKD (2012). Videreutvikling av MTB-systemet. Rapport fra arbeidsgruppe nedsatt av Fiskeri- og kystdepartementet. *Fiskeri- og kystdepartementet*.
- FKD (2013). Akvakultur: Høring av forslag om videreutvikling av produksjonsbegrensningssystemet (MTB). *Fiskeri- og kystdepartementet*.
- Guttormsen, A. G. (2008). Faustmann in the sea: optimal rotation in aquaculture. *Marine Resource Economics*, 23(4), 401.
- Heaps, T. (1990). *The optimal feeding of farmed fish*. Institute of Fisheries Economics.
- Karp, L., Sadeh, A., & Griffin, W. L. (1986). Cycles in agricultural production: the case of aquaculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 68(3), 553–561.
- Kontali Analyse (2013a). Produksjonsreguleringer i havbruk tilleggsutredning – rullerende gjennomsnittlig MTB. *Fiskeri- og kystdepartementet*.
- Kontali Analyse (2013b). Salmon farming industry handbook 2013. *The Marine Harvest Salmon Industry Handbook*, (pp. 31–31).
- Mistiaen, J. A., Strand, I., et al. (1998). Optimal feeding and harvest time for fish with weight-dependent prices. *Marine Resource Economics*, 13, 231–246.

Oglend, A. & Sikveland, M. (2008). The behaviour of salmon price volatility. *Marine Resource Economics*, 23(4), 507.

Thorarensen, H. & Farrell, A. P. (2011). The biological requirements for post-smolt atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture*, 312(1), 1–14.