

**Arbeidsnotat nr. 33/09**

**Klimaendringer og havbruk**

**av**

**Stein Ivar Steinshamm**

SNF-prosjekt nr. 2750

Klimaendringer og økonomiske utfordringer for Vestlandet

Prosjektet er finansiert av Bergen Næringsråd v/Bergensscenariene 2020

**SAMFUNNS- OG NÆRINGSLIVSFORSKNING AS**  
**BERGEN, SEPTEMBER 2009**  
ISSN 1503-2140

© Dette eksemplar er fremstilt etter avtale med KOPINOR, Stenergate 1, 0050 Oslo. Ytterligere eksemplarfremstilling uten avtale og i strid med åndsverkloven er straffbart og kan medføre erstatningsansvar.



# KLIMAENDRINGER OG HAVBRUK

## *Innledning*

I dette kapitlet skal vi se på noen mulige konsekvenser av klimaendringer, og spesielt temperaturøkning som følge av global oppvarming, på havbrukssektoren. Dette vil bli gjort ved at vi først går gjennom litteraturen på området og oppsummerer de resultatene som allerede er funnet. Derneft vil vi prøve å sannsynliggjøre hva som hender hvis vi utvider noen av de modellene som har vært anvendt tidligere. I den sammenhengen vil vi spesielt se på effektene av størrelsesavhengig pris på optimal slaktevekt, optimalt slaktetidspunkt og potensiell verdiskapning.

## LITT OM DEN ØKONOMISKE BETYDNINGEN AV HAVBRUKSSEKTOREN HER

### *Sannsynlige virkninger av klimaendringer.*

Måten klimaendringer kan påvirke havbrukssektoren på kan deles inn i direkte og indirekte effekter. De direkte effektene er endring i havtemperaturen og endringer i vannkvalitet som følger av dette samt effekter av ekstremvær, endring i havnivå, økt algeoppblomstring osv. som kan vises tilbake til global oppvarming. Indirekte effekter kan være endring i forpriser, endring i prisene på settefisk og lignende, som kan tilbakeføres til klimaendringer.

Foreløpig har en ikke nok grunnlag til å konkludere noe entydig med hensyn til ekstremvær, og prognosene for endringer i havnivå er også høyst usikre ettersom anslagene varierer fra en økning på 10 cm til en økning på 90 cm. i løpet av de neste 100 år. De indirekte effektene av klimaendringer er rimeligvis enda mer usikre. Vi vil derfor i dette kapitlet konsentrere oss om de direkte følgende av økning i temperaturen på den konkrete verdiskapningen siden dette tross alt er en av de best dokumenterte effektene av global oppvarming som følge av menneskeskapte klimaendringer. Slike endringer vil kunne påvirke fiskens veksthastighet og naturlige dødelighet som er de to fundamentale størrelsene i forhold til biologisk produktivitet.

### *Litteraturoversikt og tidligere resultater*

Selv om denne rapporten primært konsentrerer seg om effektene av klimaendringer for Vestlandsregionen, vil vi i dette avsnittet kort gjennomgå litt av den internasjonale litteraturen

på området før vi retter inn fokuset på det mer lokale planet for å se om der finnes noe som kan ha overføringsverdi. Det eksisterer relativt få studier av effektene av klimaendringer på akvakultur og havbrukssektoren.

Av internasjonale publikasjoner og rapporter kan bl.a. nevnes Handisyde et al. (2006) og Allison et al. (2007). Begge disse konsentrerer seg om akvakultur og fiskeoppdrett i utviklingsland og hva som kan gjøres for å redusere sårbarheten overfor klimaendringer i form av endringer i havnivå, etc. Handisyde et al. ser på case-studier fra Bangladesh mens Allison et al. konsentrerer seg om case-studier fra Afrika (Malawi). De Silva og Phillips (2007) er en mer generell gjennomgang av hvilke problemer og utfordringer akvakulturnæringen står overfor i forhold til klimaendringene som er ventet å komme.

Når det gjelder systematiske undersøkelser av hvordan en forventer fremtiden for akvakulturnæringen og fiskeoppdrett skal bli med hensyn til produktivitet og kostnads- og inntektsutvikling eksisterer det svært lite. De mest omfattende studiene av dette slaget er sannsynligvis Lorentzen og Hannesson (2005) og (2006) samt Lorentzen 2008. Vi vil raskt gå gjennom resultatene fra disse studiene under før vi prøver å utvide modellen til også å inkludere at prisen kan variere med størrelse.

### *Resultater*

Lorentzen and Hannesson (2005) er en økonometrisk studie som ser på mulige utviklingsscenarier i produksjonen av laks og ørret med og uten klimavirkninger. Da rapporten ble skrevet forventet de en økning i produksjonen fra eksisterende anlegg fra rundt 600 000 tonn til 8 – 900 000 tonn i løpet av en femårsperiode. Nye data som har kommet til etter at rapporten ble skrevet viser at dette anslaget synes å virke realistisk. Produksjonen av matfisk fra norske anlegg har i gjennomsnitt økt med ca. 40 000 tonn i året i løpet av de siste åra. Et annet viktig spørsmål som søkes klarlagt er hvordan den geografiske spredningen av produksjonen forventes å utvikle seg. Rapporten estimerer den teoretisk maksimale produksjonen av oppdrettsfisk basert på fysiske forutsetninger til 3,4 mill. tonn men det fremheves at i praksis er nok tallet en god del lavere på grunn av reguleringer, konkurranse om arealbruk, manglende infrastruktur, m.m. Det mest interessante med rapporten er kanskje at de estimerer en empirisk vekstfunksjon som viser signifikant sammenheng mellom vekst og temperatur, nærmere bestemt at det skjer en raskere vekst med høyere temperatur. Med andre ord vil tiden det tar for å produsere en fullt utvokst matfisk avta med temperaturen. I neste

omgang estimerer de forholdet mellom produksjonsvolum og pris som indikerer en relativt sterk negativ sammenheng.

*Utvidelse av modellene: Modell for optimalt havbruk.*

I det følgende gjennomgår vi standardmodellen for optimalt havbruk slik den er brukt av blant annet av Lorentzen og Hannesson (2006). Denne modellen baserer seg på Faustmanns modell for skogbruk. Martin Faustmann, en tysk skogbruker på 1800-tallet, utviklet sin versjon av modellen i 1849. Faustmanns opprinnelige modell tar bare hensyn til en generasjon av trær. Modellen ble videreutviklet av den svenske økonomen og nobelprisvinneren Bertil Ohlin. Ohlins modell tar hensyn til at arealet som blir brukt kan plantes på nytt og at man kan ha flere generasjoner trær etter hverandre. Dette kalles for rotasjonsproblemet og ble formelt løst av Ohlin i 1921. Tyske skogbrukere var imidlertid klar over løsningen på rotasjonsproblemet allerede i 1860.

Faustmann-modellen er beskrevet mange steder, se for eksempel Clark (1990). Modellen kan anvendes mer eller mindre direkte på fiskeoppdrett. Anvendelse av Faustmann-modellen på fiskeoppdrett er grundig beskrevet og gjennomgått av Bjørndal et al. (1987).

Den teoretiske modellen for optimalt fiskeoppdrett kan beskrives som følger. La  $p$  være prisen per kilo fisk når den blir slaktet,  $N(t)$  være antall fisk på tidspunkt  $t$  og  $w(t)$  være vekten av fisken på tidspunkt  $t$  målt i kilo. Verdien av all fisken på tidspunkt kan da beskrives med en verdifunksjon  $V(t)$ :

$$V(t) = p \cdot N(t) \cdot w(t).$$

Videre vil antall fisk på tidspunkt  $t$  være gitt med en tidsutvikling av typen

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-Mt}$$

hvor  $N_0$  er antall settefisk som blir utsatt på tidspunkt 0 og  $M$  er den naturlige dødeligheten i populasjonen. Formulert på denne måten står altså  $t$  ikke bare for tidspunkt men også for alder på fisken. For vekstfunksjonen  $w(t)$  finnes det mange ulike alternativ som vi skal komme tilbake til.

Hvis vi tenker oss et gitt areal, for eksempel en standard merd, så er antall settefisk mer eller mindre gitt ut fra størrelsen på merden og blir dermed ikke en beslutningsvariabel. Hvis prisen på settefisk i tillegg er gitt eksogent og ikke avhenger av antall settefisk, så blir utgiftene til settefisk en såkalt "sunk cost" som forsvinner fra regnestykket. Problemet vi står igjen med er å beregne det optimale slaktetidspunktet. I første omgang ser vi på hvordan dette beregnes for en generasjon av fisk, dvs. vi ser på det opprinnelige Faustmann-problemet fra 1849.

Problemet består i å maksimere netto nåverdien av en generasjon oppdrettsfisk gitt ved

$$NPV = V(t) \cdot e^{-rt}$$

hvor  $r$  er diskonteringsraten. Dette gjør vi ved å derivere med hensyn på tiden og dermed finne optimalt slaktetidspunkt.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} NPV &= V'(t) \cdot e^{-rt} - r \cdot V(t) \cdot e^{-rt} = 0 \\ \Rightarrow \frac{V'(t)}{V(t)} &= r. \end{aligned}$$

Tolkningen av dette uttrykket er at den relative endringen i verdifunksjonen skal være lik diskonteringsraten. Denne tolkningen er for så vidt tilforlatelig men ikke særlig anvendbar i praksis. Hvis vi derimot setter inn uttrykket for verdifunksjonen over får vi etter litt regning et mer anvendbart uttrykk gitt som følger:

$$\begin{aligned} e^{-rt} \cdot p \cdot N_0 \cdot e^{-Mt} [w'(t) - M \cdot w(t) - r \cdot w(t)] &= 0 \\ \Rightarrow \frac{w'(t)}{w(t)} &= M + r. \end{aligned} \tag{1}$$

Det nederste uttrykket kan brukes til å finne optimalt slaktetidspunkt når vekstfunksjonen er en kjent funksjon med spesifiserte parametre og den naturlige dødeligheten og diskonteringsraten er kjente størrelser. Tolkningen av dette uttrykket blir mer spesifikk enn når man bruker den generelle verdifunksjonen, nemlig at den relative endringen i vekstfunksjonen på marginen skal være lik summen av den naturlige dødeligheten og diskonteringsraten. Vekstfunksjonen tenker man seg som oftest som en S-formet kurve som

har stigende vekst til å begynne med og avtakende vekst etter en viss alder eller tidspunkt. I en ren biologisk modell uten diskontering blir regelen at man skal la fisken leve så lenge den relative veksten er større enn den naturlige dødeligheten og slakte den når den relative veksten på marginen er like stor som dødeligheten for etter denne alderen vil dødeligheten være størst. I en økonomisk modell må vi i tillegg justere dette uttrykket ved også å ta hensyn til diskonteringsraten. Fra uttrykket over ser vi at det å ta hensyn til diskontering i tillegg betyr det samme som å slakte tidligere. Diskonteringen kan tolkes som alternativavkastningen på verdien. Veksten representerer avkastning i merden mens diskonteringen representerer avkastningen av verdien etter at fisken er slaktet. Siden den naturlige dødeligheten representerer negativ vekst i merden, blir tilvekst minus naturlig dødelighet netto avkastning i merden. Med andre ord er optimalt slaktetidspunkt kjennetegnet ved at netto tilvekst i merden på marginen skal være lik alternativavkastningen på land. Avkastningen på land betyr i praksis den renta man kan få av pengene i banken.

Det er videre interessant å merke seg at i denne enkle modellen har verken antall settefisk eller prisen på fisken når den blir slaktet noen innvirkning på det optimale slaktetidspunktet. Grunnen til det er at disse er eksogent gitte konstante størrelser som faller ut av regnestykket. I praksis vil det si at modellen er akkurat den samme enten vi regner med en fisk eller mange fisk så lenge parametrene er uendret.

Den første utvidelsen av Faustmann-modellen går ut på å ta hensyn til at det å slakte fisken ikke bare gir inntekt i form av slakteverdi, men også gir mulighet til å sette ut ny fisk; det såkalte rotasjonsproblemet. Hvis man hadde ubegrenset tilgang på areal, ville dette ikke være noe poeng. Fiskeoppdrett i Norge er imidlertid basert på konsesjoner slik at det totale arealet eller volumet som står til disposisjon er begrenset av antall konsesjoner. Dermed blir rotasjonsproblematikken like viktig i fiskeoppdrett som den er i skogbruk hvor det heller ikke er ubegrenset tilgang på areal. Når man tar hensyn til rotasjon, blir maksimeringsproblemet seende slik ut:

$$NPV = e^{-rt_1} \cdot V(t_1) + e^{-rt_2} \cdot V(t_2 - t_1) + e^{-rt_3} \cdot V(t_3 - t_2) + \dots$$

og det gjelder å bestemme tidspunktene  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  osv. Legg merke til at vi her forutsetter en uendelig tidshorisont. Så lenge parametrene ikke endrer seg, dvs. priser, kostnader,

diskontering samt biologiske parametre, så blir problemet etter man er ferdig med første periode identisk til det opprinnelige problemet. Vi kan derfor konkludere med at alle fremtidige rotasjonsperioder vil ha samme lengde. Problemet kan derfor skrives opp igjen

$$NPV = \sum_{k=1}^{\infty} e^{-rkt} \cdot V(t) = \frac{V(t)}{e^{rt} - 1}.$$

Når vi maksimerer dette med hensyn på  $t$ , får vi:

$$\frac{V'(t)}{V(t)} = \frac{r}{1 - e^{-rt}}$$

eller

$$\frac{w'(t)}{w(t)} = M + \frac{r}{1 - e^{-rt}}.$$

Vi ser at den relative endringen i verdifunksjonen ikke lenger skal være lik diskonteringen men lik et uttrykk som alltid er større enn diskonteringen,  $r$ , siden  $1 - e^{-rt} < 1$ . Og siden uttrykket til høyre alltid er større når vi tar med rotasjon enn når vi ikke tar med rotasjon, så blir implikasjonen av å ta med rotasjon at det er optimalt å slakte tidligere. Den optimale slaktealderen når vi regner med mange generasjoner av fisk etter hverandre blir altså lavere enn når man bare regner med en generasjon.

Ved å spesifisere verdiene og uttrykkene for vekstfunksjonen, prisen og diskonteringen kan man, på samme måte som for en generasjon, regne seg fram til den eksakte optimale slaktealder.

I det følgende vil vi utvide standardmodellen som er beskrevet over, slik at den blir mer realistisk særlig med hensyn til å ta med elementer som har med klimaendringer å gjøre. Dette vil så bli benyttet til å beregne optimal slaktealder og verdiskapning under ulike forutsetninger, og spesielt se på hvordan antakelsene om klimaendringer påvirker slaktealder og verdiskapning. Først vil vi gå gjennom de teoretiske implikasjonene.



### Størrelsesavhengig pris

Størrelsesavhengig pris vil si at i stedet for en konstant pris,  $p$ , blir prisen en funksjon av vekten,  $p(w)$ . Dersom prisen øker med størrelsen på fisken har vi  $p'(w) > 0$  og omvendt. Dersom prisen først øker med vekten for så å avta får vi en mer komplisert sammenheng og implikasjonene blir mer tvetydig, men denne muligheten ser vi bort fra her.

Størrelsesavhengig pris betyr først og fremst at uttrykket for verdifunksjonen nå er gitt ved

$$V(t) = p(w(t)) \cdot N(t) \cdot w(t)$$

Når vi bruker dette uttrykket for å løse førsteordensbetingelsene får vi i stedet for (1)

$$\frac{w'(t)}{w(t)} = M + r - \frac{p'(w)}{p(w)} \cdot w'(t).$$

Sammenliknet med (1) får vi altså et ledd i tillegg, og når også funksjonen  $p(w)$  er spesifisert, lar dette uttrykket seg løse for optimal slaktealder på samme måte som (1). De kvalitative implikasjonene av det ekstra leddet lar seg lett finne. Vi vet at høyere diskontering og høyere naturlig dødelighet gir lavere slaktealder. Siden det står minus foran det siste leddet, betyr det følgelig at  $p'(w) > 0$  gir høyere optimal slaktealder og  $p'(w) < 0$  gir lavere optimal slaktealder siden  $p(w)$  og  $w'(t)$  begge antas å være positive. Dette resultatet er også ganske intuitivt. Dersom prisen øker med størrelsen på fisken, er det naturlig at en skal vente litt lenger med å slakte. I det tilfelle der  $p'(w)$  først er positiv og så blir negativ kan det tenkes at det blir flere løsninger som må sorteres ut.

Når vi ser på problemet med flere rotasjonsperioder, så blir løsningen også noenlunde tilsvarende den vi fant over.

$$\frac{w'(t)}{w(t)} = M + \frac{r}{1 - e^{-rt}} - \frac{p'(w)}{p(w)} \cdot w'(t).$$

Implikasjonen med hensyn til optimal slaktealder blir omtrent de samme som uten rotasjon, nemlig at pris som øker med størrelsen gir høyere optimal slaktealder. I dette tilfellet gjelder det ikke lenger bare en generasjon fisk men for alle generasjoner fremover.

### *Aldersavhengig naturlig dødelighet*

Det er naturlig å tenke seg at den naturlige dødeligheten ikke nødvendigvis er konstant men kan øke med alderen på fisken. I så fall er det også naturlig at optimal slaktealder vil gå ned sammenliknet med en konstant naturlig dødelighet. I dette avsnittet vil vi avklare hvordan dette forholdet ser ut i praksis. Det vil si, vi ønsker å finne et uttrykk som, i tillegg til forhåpentligvis å bekrefte den kvalitative sammenhengen, også kan brukes til konkrete beregninger av optimal slaktetidspunkt.

Uttrykket for antall fisk på ethvert tidspunkt er nå gitt ved

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-M(t)t}.$$

Det vil si, den naturlige dødeligheten er ikke lenger en konstant,  $M$ , men en funksjon av alderen på fisken,  $M(t)$ . Når vi setter dette inn i verdifunksjonen og løser førsteordensbetingelsene får vi følgende uttrykk for optimal slaktealder uten rotasjon:

$$\frac{w'(t)}{w(t)} = r + [M(t) + M'(t) \cdot t].$$

Igjenn får vi et ledd i tillegg til  $r$  på høyre side av likningen, og siden en må anta at dødeligheten øker med alderen er dette uttrykket entydig positivt og bidrar derfor til lavere optimal slaktealder. Så snart forholdet mellom alder og dødelighet er spesifisert, kan dette uttrykket brukes til å finne det eksakte optimale slaktetidspunkt samt hvilke implikasjoner dette har for den totale lønnsomheten med videre.

I tilfellet med rotasjon blir førsteordensbetingelsen for optimalitet modifisert på samme måte som tidligere:

$$\frac{w'(t)}{w(t)} = \frac{r}{1 - e^{-rt}} + [M(t) + M'(t) \cdot t].$$

### *Sammenheng med klimaendringer*

I det følgende vil modellen over blir tallfestet for å anvendes på problemstillinger knyttet til klimaendringer. Spesielt vil vi se på hvordan optimal slaktealder endres og hvilke

implikasjoner dette har for lønnsomheten i bransjen. Siden dette er en utvidelse av modellen i Lorentzen og Hannesson (2006) vil vi benytte tall derfra for å gjøre det hele mest mulig sammenliknbart.

Hovedvekten her vil bli lagt på størrelsesavhengig pris siden det er her en har sterkest empirisk grunnlag til å uttale seg. Grunnen til at dette er viktig i forbindelse med klimaendringer er relativt opplagt. Som det er gjort rede for hos Lorentzen og Hannesson, er veksten avhengig av temperaturen. Hvis prisen igjen avhenger av vekt, er det rimeligvis interessant å se hvordan dette slår ut med hensyn til optimal tilpasning og med hensyn til lønnsomhet.

Det er også mulig at klimaendringer, for eksempel i form av temperaturstigning, har innvirkning på den naturlige dødeligheten. Blant annet kan skadelig algeoppblomstring forekomme hyppigere dersom temperaturen stiger. Dette er imidlertid problemstillinger som det kan være interessant å følge opp senere.

#### *Temperatur og vekst.*

Lorentzen og Hannesson (2006) gjengir data om hvordan veksten endrer seg med temperaturregimet. Hovedkonklusjonene deres er at veksten går raskere med høyere temperatur helt opp til ca. 16 grader, deretter avtar veksten noe ved ytterligere temperaturøkning men denne effekten er svak. Sammenhengen mellom temperatur og vekst er spesielt sterk for temperaturregimer lavere enn ca. 7 grader. Imidlertid skjer lite eller ingenting av lakseproduksjonen ved så lave temperaturer.

Effekten av eventuell global oppvarming er altså avhengig av hvilket temperaturregime en har i utgangspunktet. I Norge er det som kjent store forskjeller mellom nord og sør. Mens Lista i Vest-Agder har en gjennomsnittlig sjøtemperatur på 8,7 grader, har Skrova i Vågan kommune i Nordland en temperatur som er to grader lavere, nemlig 6,7 (kilde: Havforskningsinstituttet).

I følge IPCC<sup>1</sup> har den globale temperaturen økt med ca. 0,75 grader i løpet av forrige århundre og vil, basert på modellberegninger, øke med 1 til 6 grader de neste hundre år. Selv om vi tar utgangspunkt i Lista som representerer noe av det varmeste vi kan forvente i Norge,

---

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (FNs klimapanel).

og i tillegg regner med den aller høyeste temperaturøkningen fra modellene til IPCC, kommer vi ikke over 15 grader i gjennomsnitt. Dette er fortsatt under det nivået der veksten avtar med høyere temperatur. Imidlertid svinger som kjent temperaturen over året, og amplituden i svingningene er henholdsvis 4,7 og 3,7 for Lista og Skrova. Det er også mulig at selve svingningene vil kunne øke som en følge av global oppvarming. Det betyr at med et veldig høyt anslag for temperaturøkning kan temperaturen på Lista komme opp i 20 grader på den varmest tiden av året mot slutten av inneværende århundre.

Hovedfokuset i dette avsnittet vil imidlertid være å se på noen realistiske anslag for temperaturøkninger i noe nærmere fremtid og hvilke konsekvenser dette har og ikke minst betydningen av vektavhengig pris i denne sammenhengen.

I det følgende gjengir vi optimal slaktealder og maksimal nåverdi for en kohort med og uten størrelsesavhengig pris. I tilfellet med størrelsesavhengig pris antar vi at prisfunksjonen er lineær av typen

$$p(w) = a + b \cdot w$$

hvor  $a$  og  $b$  er parametre. Disse parametrene sammen med de øvrige input-parametrene er gjengitt i Tabell 1. Siden det er relative størrelser som er av interesse, antar vi en initiell utsetting identisk lik en.

Lorentzen og Hannesson (2006) estimerer parametre for tre forskjellige typer vekstfunksjon, nemlig logistisk vekst, eksponensiell vekst og von Bertalanffy vekstfunksjon. Sistnevnte gir ikke spesielt gode parameterverdier, og en vil her derfor konsentrere seg om de to førstnevnte i det følgende.

Tabell 1. Inputparametre som er felles for alle kjøringer

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| Fast pris                  | 29,73  |
| Etterspørselsparameter $a$ | 26,835 |
| Etterspørselsparameter $b$ | 0,5825 |
| Initiell bestand           | 1      |
| Naturlig dødelighet        | 0,2    |
| Diskontering               | 0,05   |

### Logistisk vekst

Vi ser først på tilfellet med en logistisk vekstfunksjon. Denne vekstfunksjonen er gitt ved uttrykket

$$w(t) = \frac{1}{\alpha + \beta^t}.$$

Verdien på parametrene  $\alpha$  og  $\beta$  er hentet fra Lorentzen og Hannesson (2006), og disse varierer rimeligvis med temperaturen. Optimal slaktevekt og tilhørende nåverdi uten rotasjon er gjengitt i Tabell 2.

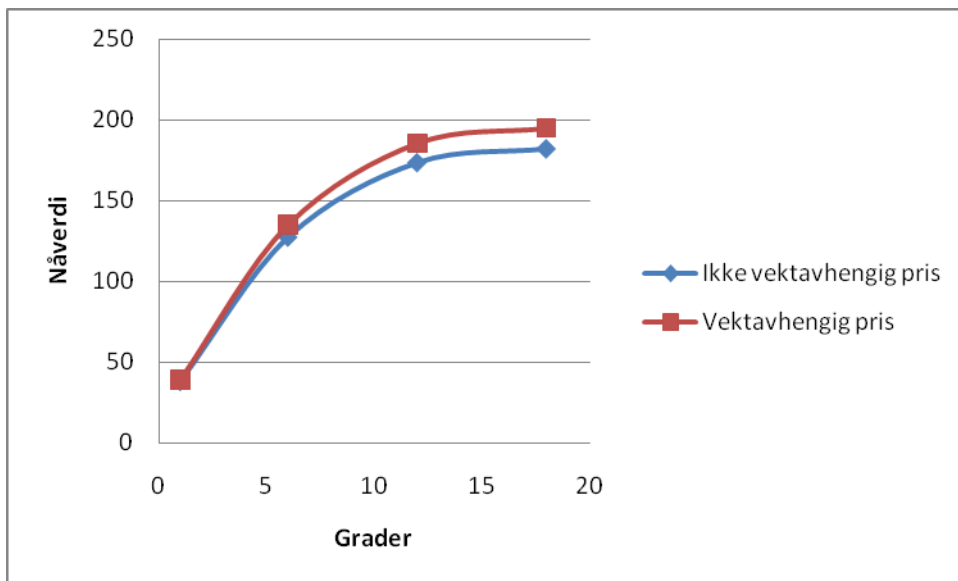
Tabell 2. Optimal slaktevekt og nåverdi med logistisk vekst og uten rotasjon.

| Temperaturregime | Ikke vektavhengig pris |         | Vektavhengig pris |         |
|------------------|------------------------|---------|-------------------|---------|
|                  | Vekt                   | Nåverdi | Vekt              | Nåverdi |
| 1 grader         | 5,8                    | 38,44   | 6,1               | 39,21   |
| 6 grader         | 7,9                    | 127,71  | 8,0               | 135,15  |
| 12 grader        | 8,4                    | 173,78  | 8,46              | 185,56  |
| 18 grader        | 8,5                    | 182,32  | 8,53              | 194,95  |

Vi ser at optimal slaktevekt øker fra ca. 5,8 kg. ved et temperaturregime på rundt 1 grad til 8,5 kg. ved 18 grader når vi ikke tar hensyn til vektavhengig pris. Begge disse ytterpunktene, dvs.

1 og 18 grader, er urealistisk som gjennomsnittstemperaturer, og det er derfor de midterste scenariene 6 og 12 grader som er mest interessante. Videre kan verdiene for optimal slaktevekt virke høye sammenliknet med det man finner innenfor faktisk fiskeoppdrett. Grunnen til dette er at i faktisk fiskeoppdrett er det alltid rotasjon, dvs. utsetting av en ny generasjon når den gamle blir slaktet. Tilfellet uten rotasjon er derfor ikke helt representativt, men det er med for sammenlikningens skyld.

Figur 1. Netto nåverdi som funksjon av temperaturregime med logistisk vekst uten rotasjon.



Det er interessant å se hvordan nåverdien av aktiviteten som mål på den totale lønnsomheten øker med økende temperatur, noe som er gjengitt i Tabell 2 og også illustrert i Figur 1. Selv om nåverdien øker med økende temperatur, øker den ikke linært. Det er langt mer å hente i form av økt verdiskaping ved økende temperatur når temperaturen i utgangspunktet er lav. For temperaturer under 10 grader er gevinsten betydelig, mens for temperaturer over 15 grader er der nesten ingen gevinst. Vi ser også at når vi tar hensyn til vektavhengig pris, er verdiskapingen målt ved nåverdien høyere. Og ikke bare det, men forskjellen mellom tilfellet med og uten vektavhengig pris øker jo høyere temperaturen er. Ved en grader er det nesten ingen forskjell, mens ved 18 grader er forskjellen syv prosent.

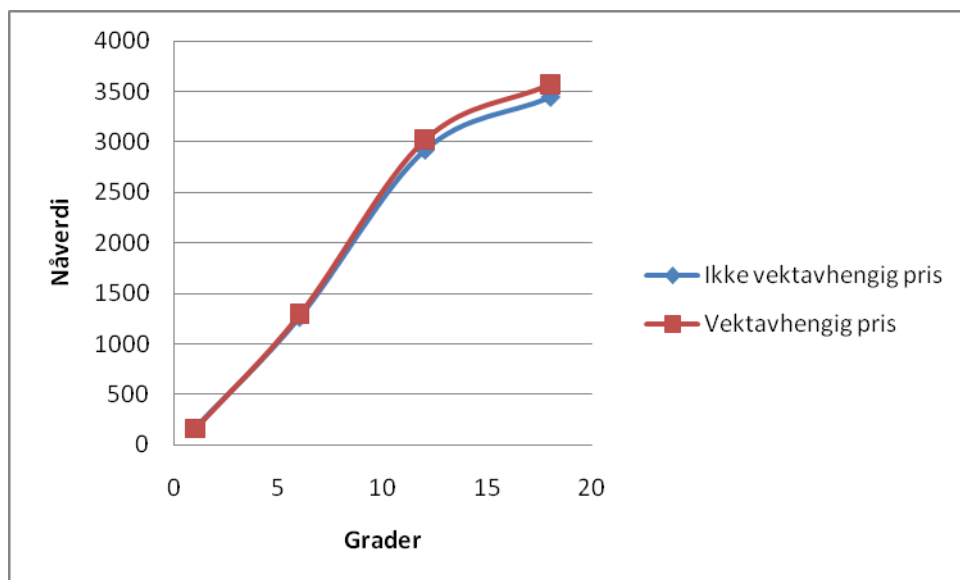
Det neste vi ser på er hvordan resultatene påvirkes av at vi tar hensyn til rotasjonsproblematikken. For denne situasjonen er resultatene gjengitt i Tabell 3. Som forventet går slaktevekten ned når man tar hensyn til rotasjonsproblematikken siden man må ta hensyn til at det skal settes ut ny fisk i samme lokalitet. Dette gir både mer realistiske og

mer representative resultater. Nå blir dessuten den optimale rotasjonsperioden interessant, og den avtar ved økende temperatur. Det mest interessante er likevel verdiskapningen målt ved nåverdien, og den øker også i dette tilfellet kraftig etter hvert som temperaturen stiger. Den samlede nåverdien i dette tilfellet kan imidlertid ikke sammenliknes med nåverdien uten rotasjon siden sistnevnte bare ser på en generasjon med settefisk mens førstnevnte tar hensyn til en uendelig rekke med utsetninger.

Tabell 3. Optimal slaktevekt, nåverdi og rotasjonsperiode med logistisk vekst.

| Temperaturregime | Ikke vektavhengig pris |      |         | Vektavhengig pris |      |         |
|------------------|------------------------|------|---------|-------------------|------|---------|
|                  | Rotasjons periode      | Vekt | Nåverdi | Rotasjons periode | Vekt | Nåverdi |
| 1 grader         | 6,0                    | 3,6  | 163     | 5,0               | 4,2  | 159     |
| 6 grader         | 1,9                    | 6,1  | 1263    | 2,0               | 6,5  | 1295    |
| 12 grader        | 1,1                    | 6,6  | 2919    | 1,1               | 7,0  | 3024    |
| 18 grader        | 0,9                    | 6,7  | 3442    | 1,0               | 7,0  | 3572    |

Figur 2. Netto nåverdi som funksjon av temperaturregime med logistisk vekst og rotasjon.



Forskjellen mellom tilfellet med og uten vektavhengig pris er nå mindre enn for tilfellet uten rotasjon, nemlig knapt fire prosent forskjell ved den høyeste temperaturen. Det mest interessante av alt er imidlertid at forskjellen ikke bare er mindre ved lavere temperatur; den

skifter til og med fortegn. Det vil si at ved den laveste temperaturen vi ser på, en grad, så er nåverdien marginalt høyere i tilfellet med ikke vektavhengig pris.

#### *Eksponeensiell vekst*

Den neste vekstfunksjonen vi ser på er den eksponensielle. Den er gitt ved funksjonen

$$w(t) = e^{\frac{\alpha - \beta}{t}}$$

og igjen er parameterverdiene ved ulike temperaturer hentet fra Lorentzen og Hannesson. Verdien på parametrene  $\alpha$  og  $\beta$  varierer med temperaturen mens de øvrige inputparametre er som i Tabell 1. Resultatene med hensyn til optimal slaktevekt og verdiskapning uten rotasjon er gjengitt i Tabell 4.

*Tabell 4. Optimal slaktevekt og nåverdi med eksponensiell vekst og uten rotasjon.*

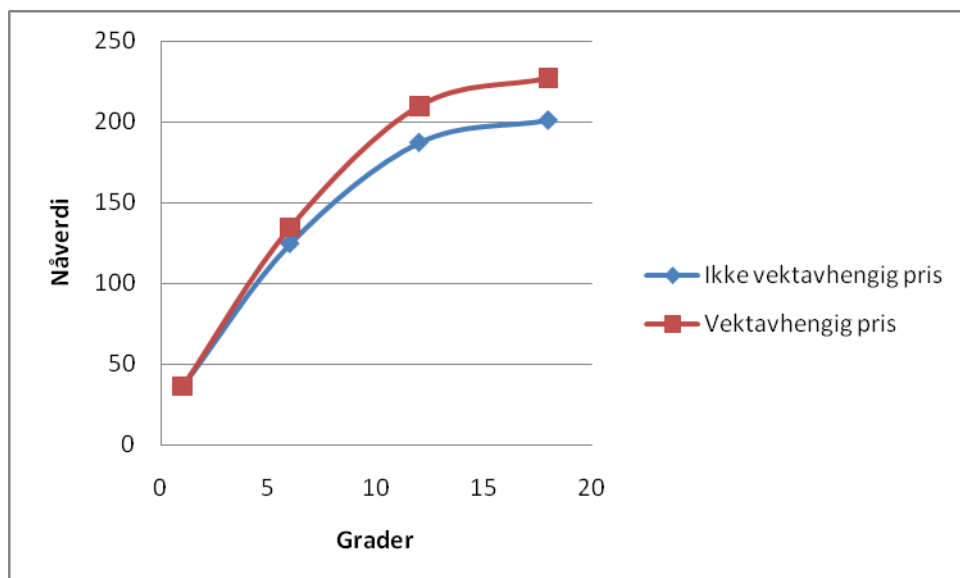
| Temperaturregime | Ikke vektavhengig pris |         | Vektavhengig pris |         |
|------------------|------------------------|---------|-------------------|---------|
|                  | Vekt                   | Nåverdi | Vekt              | Nåverdi |
| 1 grader         | 4,8                    | 36,1    | 5,1               | 36,1    |
| 6 grader         | 8,9                    | 124,4   | 9,5               | 134,7   |
| 12 grader        | 10,9                   | 187,0   | 11,5              | 209,8   |
| 18 grader        | 11,3                   | 200,8   | 11,9              | 226,9   |

Vi ser fra Tabell 4 at i tilfellet uten rotasjon får vi en unaturlig høy optimal slaktevekt. Dette fordi en i dette tilfellet tenker seg fiskeoppdrett som et engangsfenomen og ikke som en gjentatt aktivitet. Dette er opplagt ikke i overensstemmelse med virkeligheten, men dette tilfellet er likevel tatt med for totalitetens skyld og fordi det kan være interessant å sammenlikne. Optimal slaktevekt øker med økende temperatur som følge av økt biologisk produktivitet, og som forventet øker også verdiskapningen målt ved netto nåverdi. Optimal slaktevekt er gjennomgående høyere når vi tar hensyn til vektavhengig pris. Dette er som forventet siden en da ønsker å dra nytte av at prisen for stor fisk er høyere enn for mindre fisk. Ved veldig lave temperaturer er imidlertid verdiskapningen tilnærmet den samme med og uten prisavhengighet. Det er derfor interessant å merke seg at forskjellen i verdiskapning i



tilfellet med og uten vektavhengig pris er større jo høyere temperaturen er. Ved en temperatur på 18 grader er denne forskjellen på over 13 prosent. Hvordan denne forskjellen i verdiskapning stiger med stigende temperatur er illustrert i Figur 3.

Figur 3. Netto nåverdi som funksjon av temperaturregime med eksponensiell vekst uten rotasjon.



Tabell 5. Optimal slaktevekt, nåverdi og rotasjonsperiode med eksponensiell vekst.

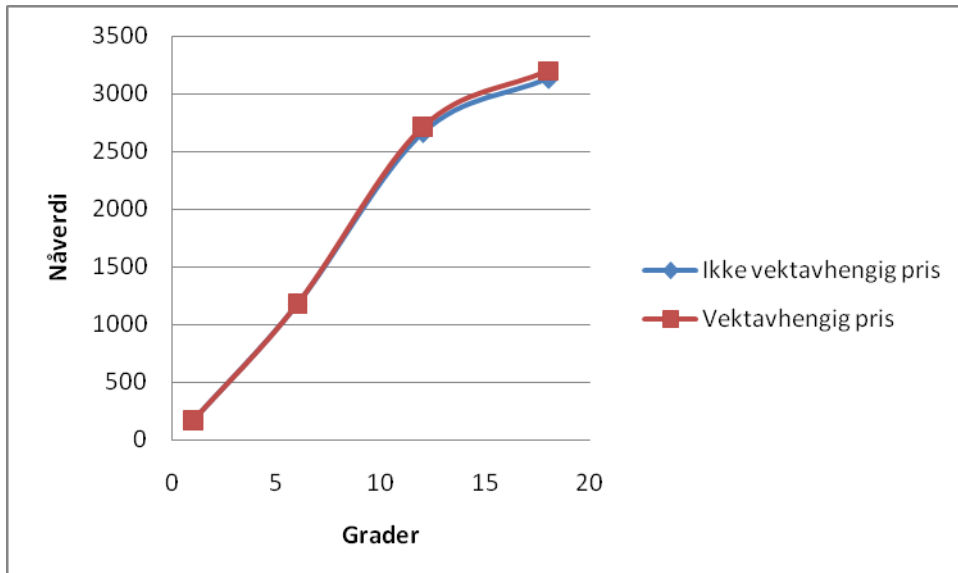
| Temperaturregime | Ikke vektavhengig pris |      |         | Vektavhengig pris |      |         |
|------------------|------------------------|------|---------|-------------------|------|---------|
|                  | Rotasjons periode      | Vekt | Nåverdi | Rotasjons periode | Vekt | Nåverdi |
| 1 grader         | 4,0                    | 2,9  | 165,4   | 4,2               | 3,1  | 165,8   |
| 6 grader         | 1,7                    | 4,8  | 1177,5  | 1,8               | 5,3  | 1179,6  |
| 12 grader        | 1,0                    | 5,6  | 2662,4  | 1,1               | 6,2  | 2710,8  |
| 18 grader        | 0,9                    | 5,7  | 3131,1  | 1,0               | 6,4  | 3197,2  |

Når vi tar hensyn til at fisk som slaktes kontinuerlig erstattes med ny settefisk, får vi resultatene som er gjengitt i Tabell 5. Vi ser her at tallene både for optimal slaktevekt og for rotasjonsperiode er mer i samsvar med det en observerer i virkeligheten med unntak for hva som er tilfelle ved en grads temperatur. Dette er en urealistisk lav temperatur og drive fiskeoppdrett ved, men den er likevel tatt med for totalitetens og for sammenlikningens skyld.

Vi må her også ta forbehold om at parameterverdiene kan være usikre siden en så lav temperatur ligger utenfor det området en har gode observasjoner for.

Vi ser at optimal slaktevekt øker med økende temperatur samtidig som den optimale rotasjonsperioden går ned. Fordelen av at fisken vokser raskere utnyttes altså både i form av at den er litt større når den slaktes og ved at man setter ut fisk oftere. Dette gir selvfølgelig gevinst i form av høyere verdiskapning, og igjen ser vi at forskjellen mellom tilfellet med og uten vektavhengig pris øker jo høyere temperaturen er. Verdiskapningen er høyest med vektavhengig pris fordi denne sammenhengen blir utnyttet på en optimal måte. Imidlertid er forskjellen mye mindre enn den var i tilfellet uten rotasjon, nemlig bare to prosent mot 13 prosent ved en temperatur på 18 grader. Ved den laveste temperaturen er der nesten ingen forskjell verken med eller uten rotasjon. Dette er illustrert i Figur 4, og ved å sammenlikne denne med Figur 3 ser en også at forskjellen i verdiskapning er mye mindre i tilfellet med rotasjon.

*Figur 4. Netto nåverdi som funksjon av temperaturregime med eksponensiell vekst og rotasjon.*



## OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER

I dette kapitlet har vi sett på konsekvensene for fiskeoppdrett på Vestlandet av klimaendringer og global oppvarming. De mest interessante resultatene er at verdiskapningen fra oppdrett entydig øker med temperaturen både med og uten størrelsesavhengig pris. Et nytt resultat som stammer fra dette arbeidet, og som så langt vi kan se ikke har vært rapportert tidligere, er at

verdiskapningen gjennomgående er størst når en tar hensyn til vektavhengig pris selv om den gjennomsnittlige prisen er den samme. Og kanskje enda mer interessant er det at forskjellen mellom verdiskapning med og uten vektavhengig pris øker med økende temperatur. Den siste effekten er så kraftig at forskjellen i verdiskapning faktisk skifter fortegn. Det vil si at ved svært lave temperaturer er det tilfellet med konstant pris som gir størst verdiskapning.

Hovedkonklusjonen i dette kapitlet må imidlertid være at fiskeoppdrett er en av de næringene som overveiende vil oppleve positive effekter av høyere temperatur, og hovedårsaken til dette er at høyere temperatur gir raskere vekst. Denne effekten vil sågar forsterkes når en tar hensyn til at prisen kan avhenge av størrelsen på fisken.

#### *Referanser:*

Allison, E.H., Andrew, N.L., and J. Oliver, 2007, Enhancing the resilience of inland fisheries and aquaculture systems to climate change, ICRISAT Open Access Journal 4(1): s.1 – 35 (ejournal.icrisat.org).

Bjørndal, T., Grønhaug, K., Holmefjord, L., and Salvanes, K., 1987, Oppdrettsøkonomi, (Cappelen, Oslo).

Clark, C. W., 1990, Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources, (John Wiley & Sons, New York).

De Silva, S.S., and Phillips, M., 2007, Climate Change and Aquaculture Research in "Research needs to sustain Asia-Pacific Aquaculture to 2025 and beyond", International Development Research Cooperation, Canada (IDRC).

Handisyde, N.T., Ross, L.G., Badjeck, M-C and E.H. Allison, 2006, The Effects of Climate Change on World Aquaculture, Department for International Development (London, UK).

Lorentzen, T., og R. Hannesson, 2005, Climate change and future expansion paths for the Norwegian salmon and trout industry, SNF Working Paper 59/05 (Institute for Research in Economics and Business Administration, Bergen).

Lorentzen, T., og R. Hannesson, 2006, Climate change and productivity in the aquaculture industry, SNF Report 02/06 (Institute for Research in Economics and Business Administration, Bergen).

Lorentzen, T., 2008, Modeling Climate Change and the Effect on the Norwegian Salmon Farming Industry, Natural Resource Modeling (Vol. 21, in press).