

## **Kan bruken av flerbestandsmodellen Systmod endre vårt syn på forvaltningen av torskebestanden i Barentshavet?**

av

**Johannes Hamre**

### **Sammendrag**

Systmod er en konseptuell simuleringsmodell for biomasseproduksjonen i bestandene av lodde, sild og torsk i Barentshavet. Hver bestand er modellert med enbestandsmodeller, hvor bestandsinteraksjonene er klimarelatert og ivaretatt som vekst (mattilbud) og dødelighet. Parametrene er bestemt ved tuning mot relevante data fra perioden 1982-2005. Konseptet betinger at ungsildbestanden påvirker loddebestanden som er torskens viktigste byttedyr. Modellkjøring viser at de viktigste interaksjonene for utbytte av torsk er virkningen av sildens beiting på loddelarver, torskebestandens beiting på kjønnsmoden lodde og på eget avkom (kannibalisme). Sterke sildeårsklasser reduserer rekrutteringen til loddebestanden. Det reduserer torskens vekst og forsinker kjønnsmodningen, som i neste generasjon reduserer beitepresset på lodde og eget avkom. Multidekadiske klimaendringer påvirker rekruttering og vekst hos sild og lodde, og sammen medfører disse interaksjonene også multidekadiske variasjoner i det årlige utbytte av torsk. Modellkjøring viser at det optimalt oppnåelige midlere utbytte over 10-års perioder oppnås ved å holde gytebestander på 200 000 til 300 000 tonn. Ved større torskebestander avtar den individuelle veksten, og kannibalismen øker så sterkt at langtidsutbyttet kan bli betydelig redusert. ICES's råd til forvaltning av torskebestanden i Barentshavet har, per i dag, som mål å opprettholde gytebestander av torsk på 460 000 tonn.

### **Innledning**

Betydningen av overbeskatning, bestandsinteraksjoner og klimaforandringer for økobilansen i Barentshavet ble synliggjort i midten av 1980-årene, da en akutt mangel på byttedyr (sild og lodde) førte til massedød blant predatorene (torsk, sel og sjøfugl). Krisen oppstod etter en lang periode med overbeskatning av silde- og loddebestanden, og ble utløst av en klimaforandring med gode rekrutteringsforhold for sild og torsk. Bestandsutviklingen i 1980-årene åpnet for nye problemstillinger i den forvaltningsrettede forskningen, aktualisert ved begrepene flerbestandsforskning og økologisk forvaltning av fiskeressursene. Det førte blant annet til et samarbeidsprosjekt mellom Norsk Regnesentral og Havforskningsinstituttet med målsetning å utvikle en systemmodell for flerbestandsforvaltning av fiske i Norskehavet og Barentshavet. Modellen ble kalt Systmod og programmert i dataspråket C og har vært operativ siden 1998. Modellen hadde imidlertid mange svakheter og er siden blitt videreutviklet og omskrevet i et mer brukervennlig dataspråk (Powersim Studio). Prosjektet

er således snart 20 år gammelt og er offentliggjort i en rekke publikasjoner og foredrag, blant andre:

Hamre, J. and Hatlebakk, E. 1998. System Model (Systmod) for the Norwegian Sea and the Barents Sea. In: T. Rødseth (ed.), *Models for Multispecies Management*, pp. 93-115. Physica-Verlag, Heidelberg New York.

Hamre, J. 2000. Effects of climate and stocks interactions on the yield of north-east arctic cod. Results from multispecies model run. Theme Session on Medium-Term Forecasts in Decision-Making. ICES CM 2000/V:04.

Hamre, J. 2003. Capelin and herring as key species for the yield of north-east Arctic cod. Results from multispecies model runs. *Scientia Marina* 67:315-323.

En slutt rapport for prosjektet er nå blitt utarbeidet under tittelen: "Flerbestandsmodellen Systmod og bruken av modellen for vurdering og forvaltning av fiskeressursene i Barentshavet". Den er forfattet av Johannes Hamre og Steinar Moen som er ansatt i firmaet Powersim og har programmert modellen. Rapporten er under trykking i *Fisken og Havet* og vil foreligge i løpet av denne måned. Emnet for dette innlegget er et sammendrag av slutt rapporten med vekt på resultatene vedrørende forvaltning av torskbestandene.

## Modellkonseptet

Systmod er en konseptuell 'top-down' flerbandsmodell og har som siktemål å beskrive kvantitativt biomasseproduksjonen i de tre økologisk viktigste fiskebestandene i Barentshavet, lodde, sild og torsk. De viktigste bestandsinteraksjonene som påvirker økobalansen i Barentshavet er interaksjonen mellom umoden sild og loddelarver, og beiting av umoden torsk på gytemoden lodde. Dette er klimastyrte funksjoner og relatert til middeltemperaturen i Kolasnippet.



**Figur 1.** Utbredelsen av umoden sild og lodde.

Silda er en effektiv planktoneter, som også eter fiskelarver. Det rammer lodda, som har sine gytefelt like i nærheten av ungsildas beitefelt (Fig 1). Lodda gyter og dør etter 3–5 år. Dette medfører at når silda får sterke årsklasser, og blokkerer for overlevning av loddeelarvene i 3 år, blir loddebestanden redusert til et minimum. Interaksjonen torsk–lodde omfatter beiting av torsk på moden lodde under gytevandringen om vinteren. Torskens beiting på eget avkom, kannibalismen, bestemmer i stor grad overlevningen av torskkeyngelen når torskbestandene er stor og loddebestanden liten, og er, som vi skal se, en særdeles viktig dynamisk faktor i økosystemet.

## Modellstruktur

Modellen er alder-lengdebaseret, som betyr at bestandene er fordelt på faste lengdegrupper per årsklasse, etter mønster av strukturen i målingene av loddebestanden ( Fig. 2).

### Filformat lodde

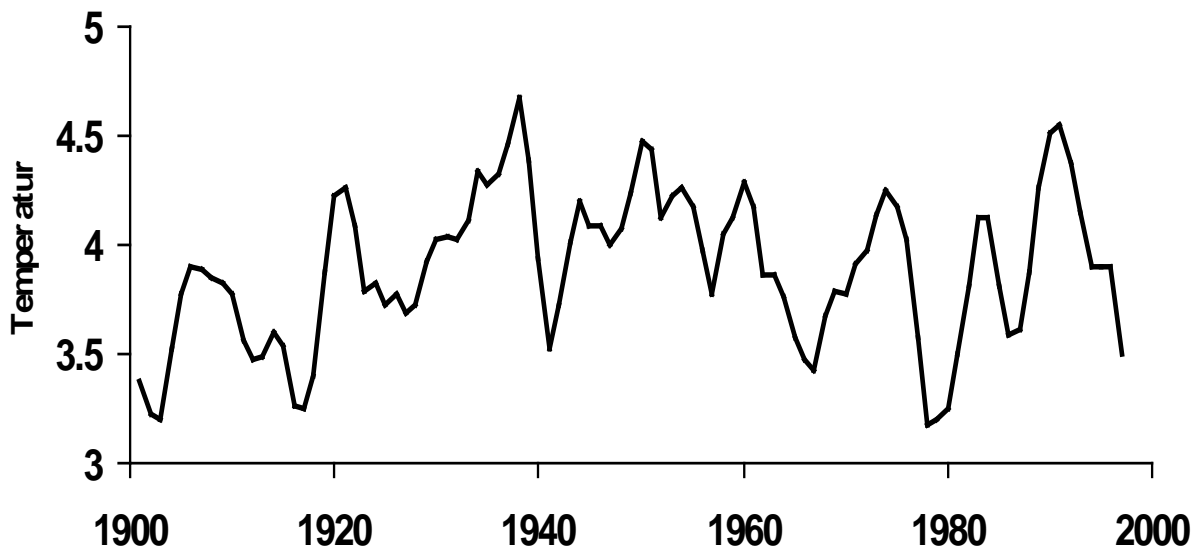
Length (cm)	1 1999	2 1998	3 1997	4 1996	5+ 1995	Sum (10 <sup>3</sup> )	Biomass (10 <sup>3</sup> t)	Mean weight (g)
5,0 - 5,5								
5,5 - 6,0								
6,0 - 6,5								
6,5 - 7,0		2,198				2,198	2,2	1
7,0 - 7,5		9,506				9,506	11,7	1,2
7,5 - 8,0		16,249				16,249	24,2	1,5
8,0 - 8,5		31,942				31,942	59	1,8
8,5 - 9,0		56,835				56,835	128,9	2,3
9,0 - 9,5		60,610				60,610	168,6	2,8
9,5 - 10,0		58,577				58,577	192,1	3,3
10,0 - 10,5		66,512	0,073			66,585	273,3	4,1
10,5 - 11,0		57,790	0,555			58,335	274,7	4,7
11,0 - 11,5		40,027	1,024			41,051	225,9	5,5
11,5 - 12,0		26,161	4,315			30,476	193,5	6,3
12,0 - 12,5		14,416	5,943			20,359	150,3	7,4
12,5 - 13,0		4,880	11,347			16,227	142,6	8,8
13,0 - 13,5		2,250	12,448			14,698	152,2	10,4
13,5 - 14,0		0,808	13,714	0,198		14,720	176	12
14,0 - 14,5		0,238	14,856	0,119		15,213	208,3	13,7
14,5 - 15,0		0,177	13,677	0,460		14,314	225,3	15,7
15,0 - 15,5			11,224	1,302	0,089	12,615	228,7	18,1
15,5 - 16,0			8,956	3,147	0,056	12,159	244,3	20,1
16,0 - 16,5			5,482	4,241		9,723	219,2	22,5
16,5 - 17,0			3,756	5,850	0,079	9,685	246,9	25,5
17,0 - 17,5			2,140	5,617		7,757	212,1	27,3
17,5 - 18,0			0,825	5,415		6,240	198,3	31,8
18,0 - 18,5			0,217	4,397	0,107	4,721	161,9	34,3
18,5 - 19,0				2,561		2,561	101,2	39,5
19,0 - 19,5				0,739	0,333	1,072	41,2	38,5
19,5 - 20,0				0,055	0,052	0,107	4,7	44,1
20,0 - 20,5					0,122	0,122	5,8	47,7
20,5 - 21,0								
TSN (10 <sup>6</sup> )	449,166	110,552	34,101	0,782	0,056	594,657		
TSB (10 <sup>3</sup> t)	1699,7	1591,8	951,0	29,5	1,2		4273,1	
Mean length (cm)	9,90	14,23	17,13	18,59	15,75	11,13		
Mean weight (g)	3,8	14,4	27,9	37,7	21,0			7,2
SSN (10 <sup>6</sup> )	0,415	61,133	33,903	0,782	0,056	96,289		
SSB (10 <sup>3</sup> t)	6,0	1112,6	948,7	28,2	1,1		2096,7	

**Figur 2.** Loddebestanden høsten 2000

Kjønnsmodning, fiskemønstre og predasjon er også lengdebaseret, uavhengig av alder. Det er denne strukturen som er spesiell for Systmod modellen, og ble initiert som regne modell for lodde kvoter i slutten av 1970 årene. For å kunne simulere sesongvariasjon, er fremskrivning av bestanden modellert på månedsbasis. Rekrutteringen skjer som 1-åringer per 1. januar. Alle inndata til modellen stammer fra ICES's og Havforskningsinstituttets databaser.

## Havklima

En antar at det er periodisk variasjon i innstrømning av atlantisk vann som bestemmer variasjonen i havklimaet i Barentshavet. Som mål for denne variasjonen bruker modellen temperaturanomalien (T) målt som årlig gjennomsnitt i de øverste 200 m i Kolasnittet.

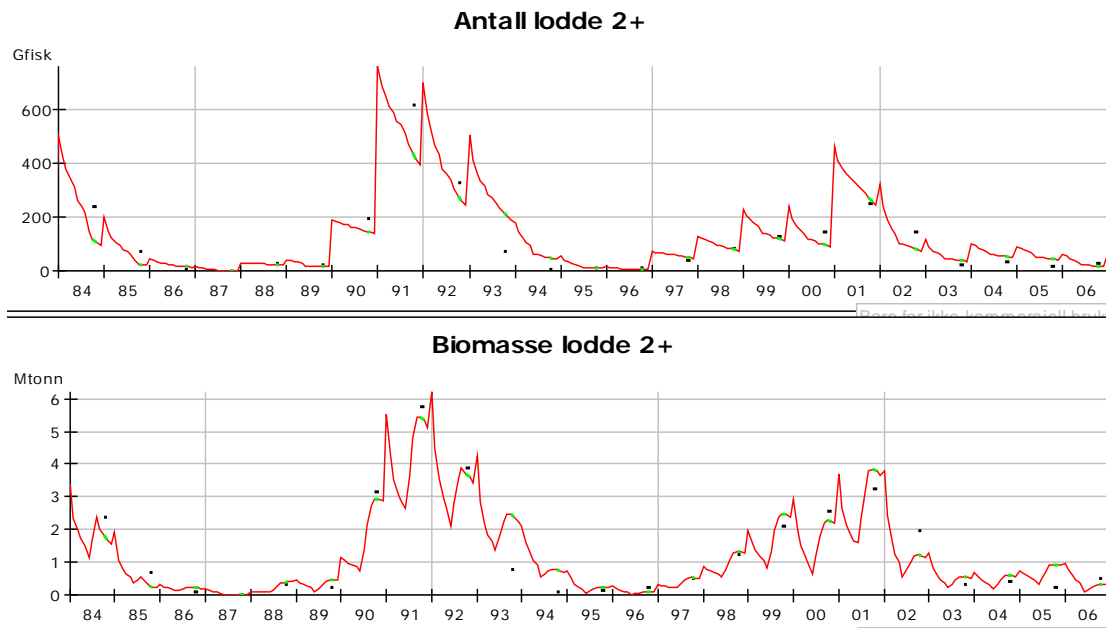


**Figur 3.** Temperaturanomali fra Kolasnippet 1900–1999 (dempet).

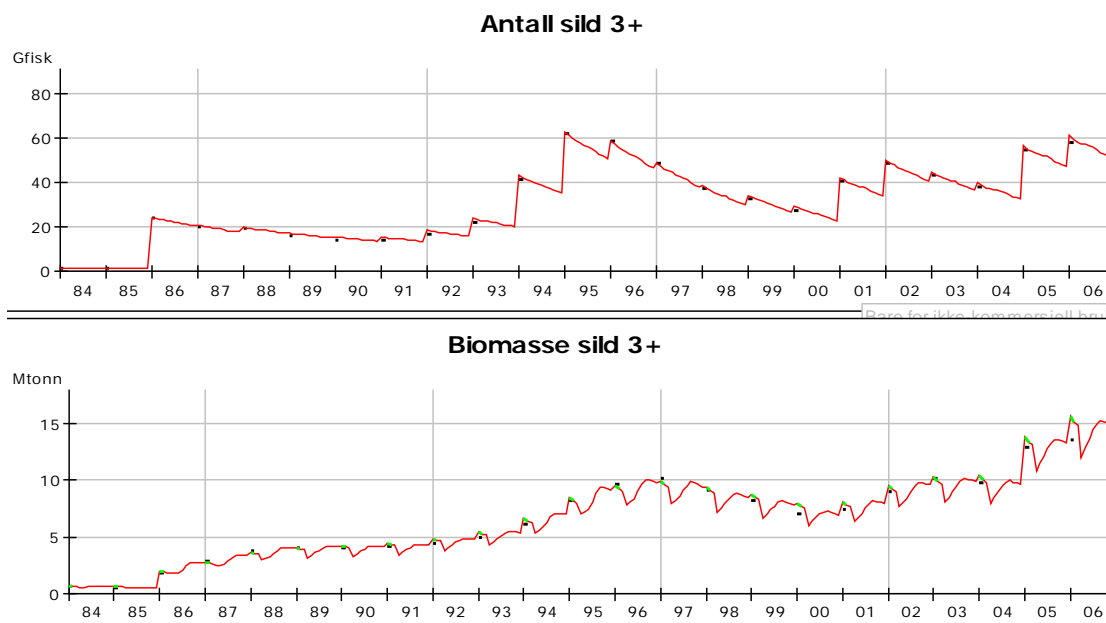
Historiske data viser at det er sammenheng mellom multidekadske klimaendringer og rekrutteringsforholdene for torsk, sild og lodde slik at perioder med stor innstrømning og høy temperatur gir gode forhold for rekruttering.

## Parametrisering

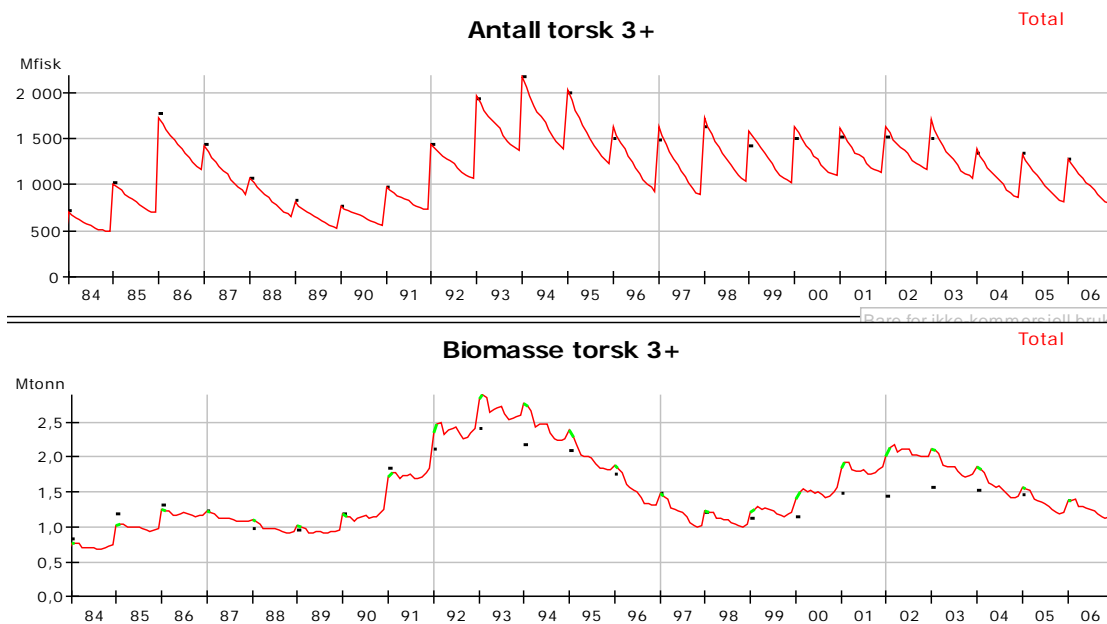
Den mest tidskrevende prosess i modellarbeide er beregningen av modellens parametre. Den er gjennomført ved tuning av modellen mot tilsvarende observerte data fra perioden 1982-2005. Perioden er begrenset til etter 1982 fordi mageprøveprogrammet av torskens konsum ble påbegynt først i 1984. Der er kun brukt visuell tilpasning ved hjelp av grafikk. I figurene 4 til 6 er vist tilpasningen for bestand i antall og vekt for lodde, sild og torsk, hvor valgte parametre for klimastyrt rekruttering, vekst og dødelighet bestemmer tilpasningen. På kurvene er avmerket hvor simulerte og observerte verdier er sammenlignbare.



**Figur 4.** Simulert og observert (punkter) bestand av 2 år og eldre lodde.



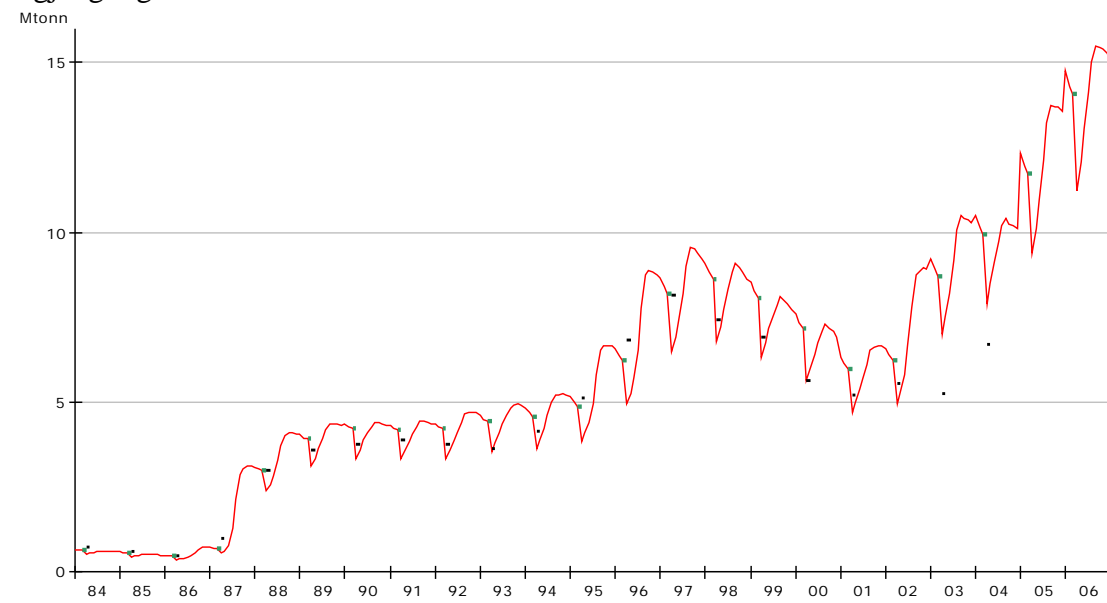
**Figur 5.** Simulert og observert (punkter) bestand av 3 år og eldre sild.



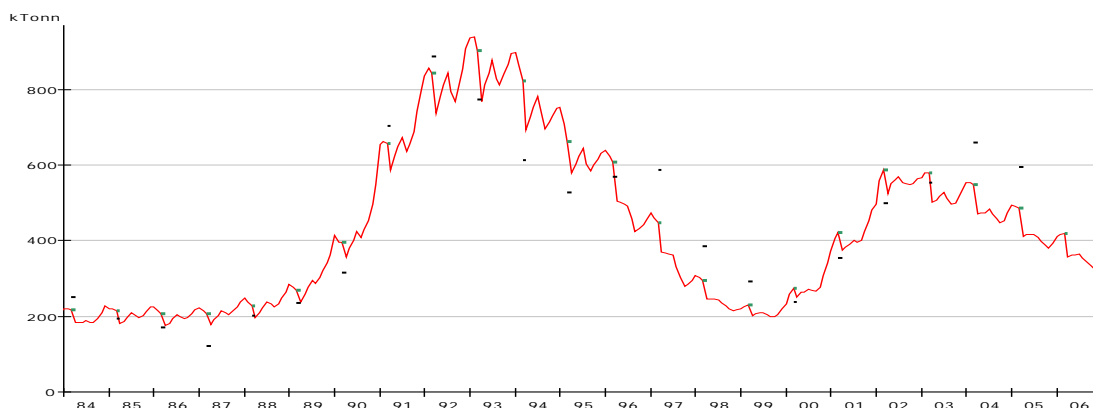
**Figur 6.** Simulert og observert (punkter) bestand av 3 år og eldre torsk.

Modellen simulerer bestandsutviklingen per måned og de punktobserverte dataene refererer til den måned som bestanden er blitt målt. For sild og torsk refererer målene til VPA-beregninger per 1. Januar for 3 år og eldre fisk (3+), for lodde til bio-akustiske mengdemålinger per 1. oktober. Mfisk/tonn står for millioner, og Gfisk for milliarder fisk.

Modnende bestand av sild og torsk simuleres med modningsfunksjoner hvor 50 % modningslengde er satt til 29 cm. og 70 cm. henholdsvis. Resultatene er vist i figurene 7 og 8. Prikkene markerer simulert moden bestand per 1. mars. Det sterke fallet i vekt kurvene frem til 1. april skyldes reduksjon i fiskens middelvekt på grunn av gytingen. Siden loddebestanden kun blir målt om høsten, er sammenlignbare data for simulert og observer gytebestand ikke tilgjengelig.

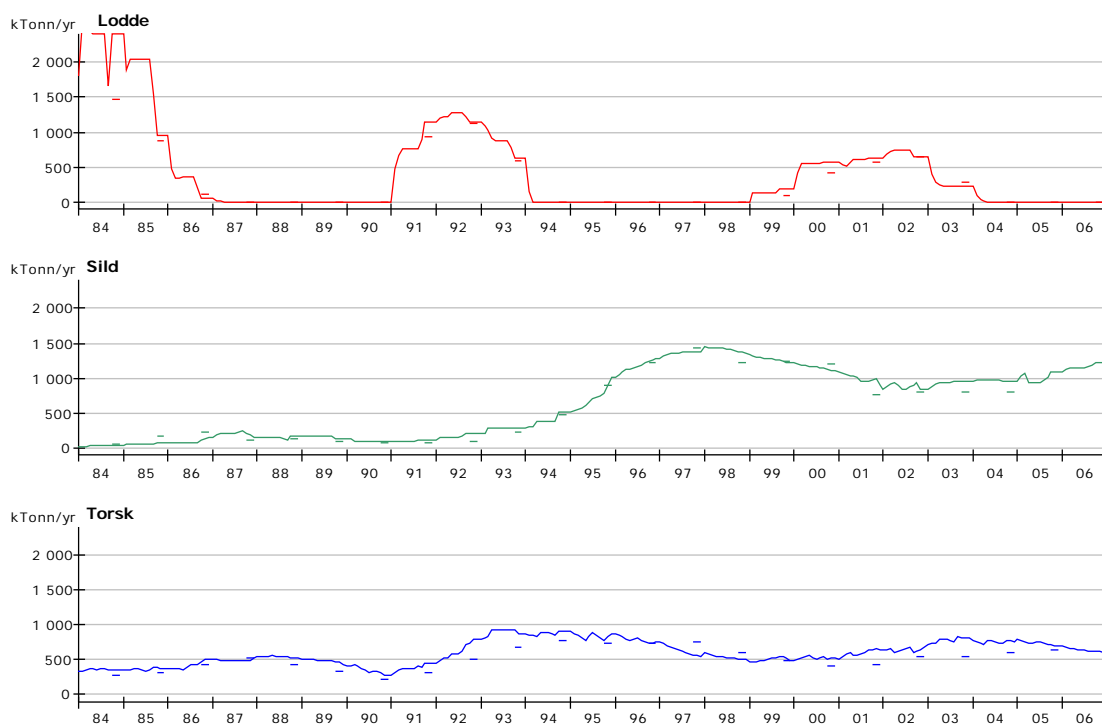


**Figur 7.** Simulert moden bestand av sild og beregnet gytebestand (sorte punkt) i millioner tonn. Punktene på kurven angir hvor dataene er sammenlignbare.



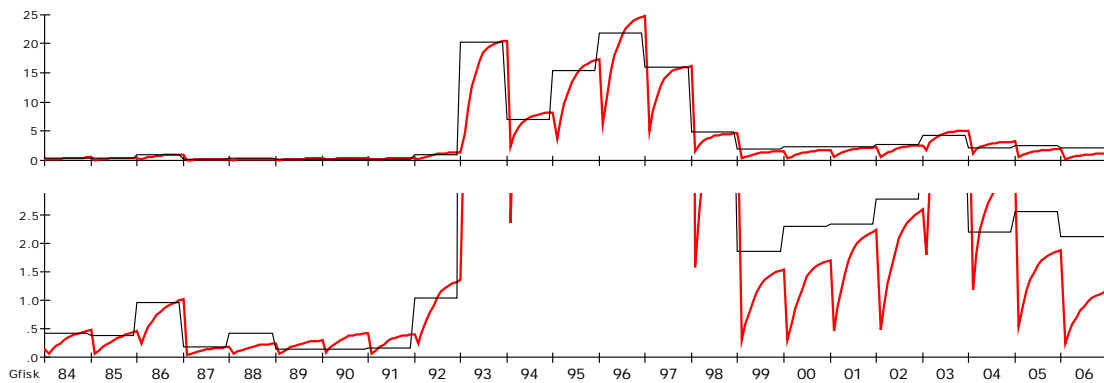
**Figur 8.** Simulert moden bestand av torsk og ICES' beregnet gytebestand (sorte punkt) i 1000 tonn. Punktene på kurven angir hvor dataene er sammenlignbare.

Dødelighetsparametrene som er brukt omfatter fangst og fangstmønster, predasjon og predasjonsmønster, og annen naturlig dødelighet. Simulerte og observerte fangster for hver art er vist i Figur 9.



**Figur 9.** Simulerte (heltrukne) og årlig registrerte fangster (småstreket) i 1000 tonn.

Kannibalismen hos torsk er som nevnt en sær viktig dynamisk faktor i systemet og er simulert som fangst hvor innsatsen er satt proporsjonal med torskebestandens størrelse. Resultatene er vist i Figur 10. Figuren er todelt hva angår skala på Y-aksen. Dette for å få frem lesbare kurver i samme figur.



**Figur 10.** Simulert (månedlig) og beregnet (årlig) kannibalisme (milliarder fisk) av ett år gammel torsk. De to grafene viser samme informasjon, men i forskjellig skala.

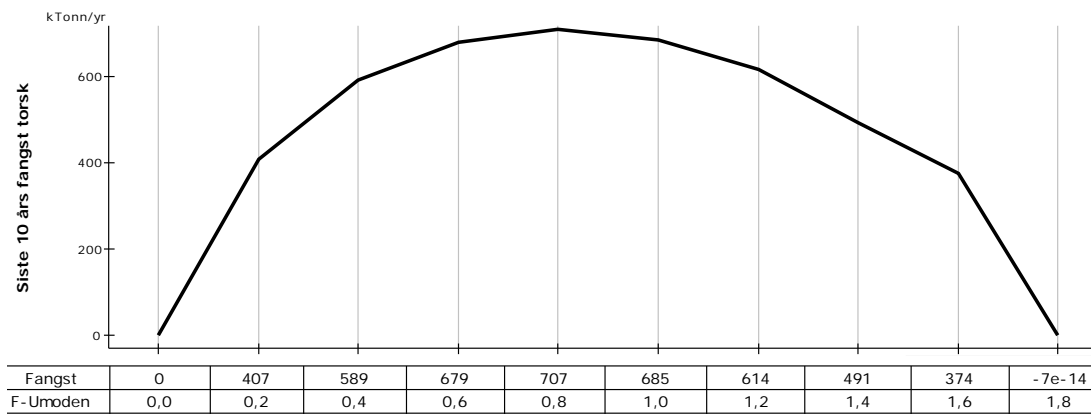
Kannibalsmen på ett-årstrinnet bestemmer i stor grad rekrutteringen til den eldre del av bestanden. Den regulerer bestandens tallrikhet på en slik måte at når bestanden er stor blir rekrutteringen til den eldre del av bestanden liten. Dette er en velkjent reguleringsmekanisme hos rovdyr som begrenser sin tallrikhet ved kannibalisme for ikke å overbeskatte sine egne byttedyr når bestanden blir stor i forhold til tilgang på prioriterte byttedyr, i dette tilfelle lodde. Ornitologene kaller denne sammenhengen Kain-Abel effekten.

Figurene 4-10 tilsier at modellen simulerer rimelig godt de viktigste dynamiske sammenhengene mellom klima, fangst og bestandsutvikling i de tre økologisk viktigste bestandene i Barentshavet i årene etter 1982. I forvaltnings sammenheng kan modellen derfor brukes til å analysere langtidsutbytte av bestandene som funksjon av beskatningsgraden.

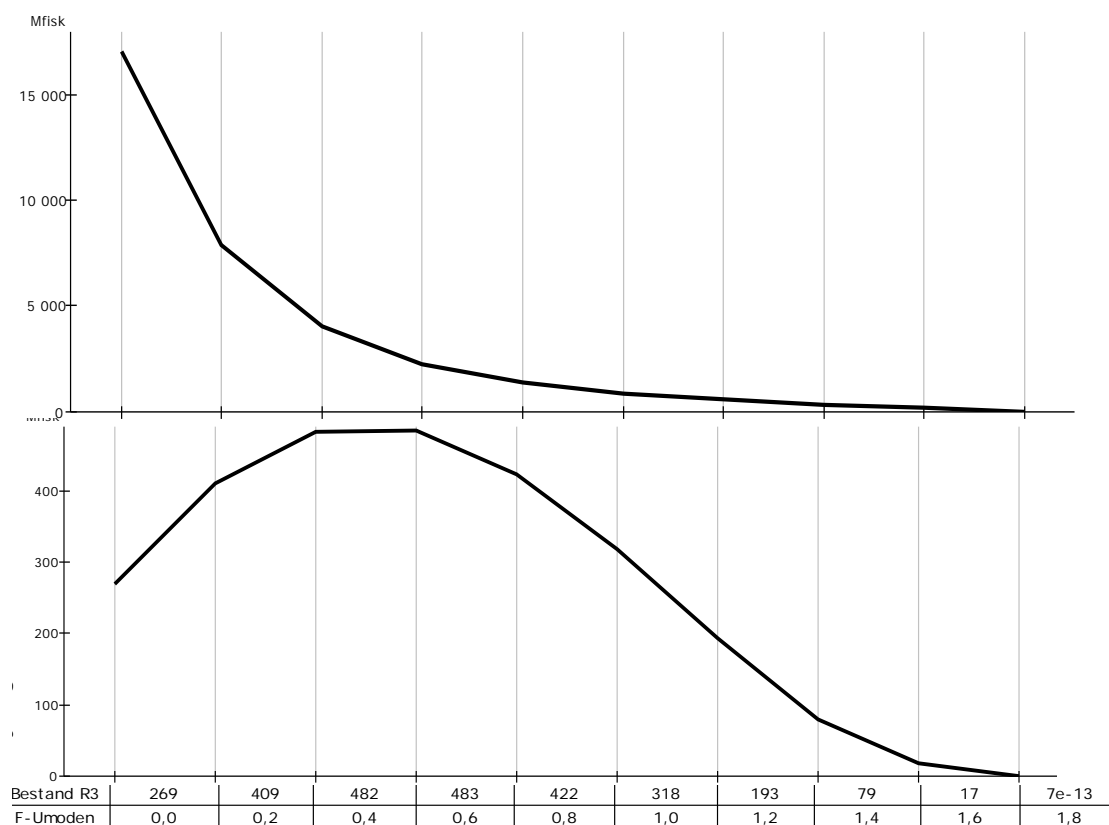
## Langtidsutbytte av torsk

Torskebestanden er utvilsomt den største beskatte av planktoneterne i Barentshavet, og en har derfor valgt torsk som eksempel i bruken av modellen. 10-års perioden 1993-2002 er valgt som basis for de klimastyrte modellparametrene, og modellen er kjørt med samme beskatningsgrad av sild ( $F=0,15$ ) og lodde ( $F=0$ ) som i de senere år. Modellen kjøres med økende fiskedødelig  $F$  til det oppstår likevekt mellom bestand og beskatning (50 år), og skriver ut verdier for midlere årlig utbytte, rekruttering som ett- og treåringer og tilsvarende gytebestand i likevekt situasjonen. Fumoden torsk er brukt som input i kjøringene, og tilsvarende  $F_{\text{moden torsk}}$  satt lik  $1,4 \times F_{\text{umoden}}$ . Dette forholdet mellom fiskedødeligheten på moden og umoden torsk er beregnet ut fra historiske fangstdata. Resultatene er vist i figurene 11-13.

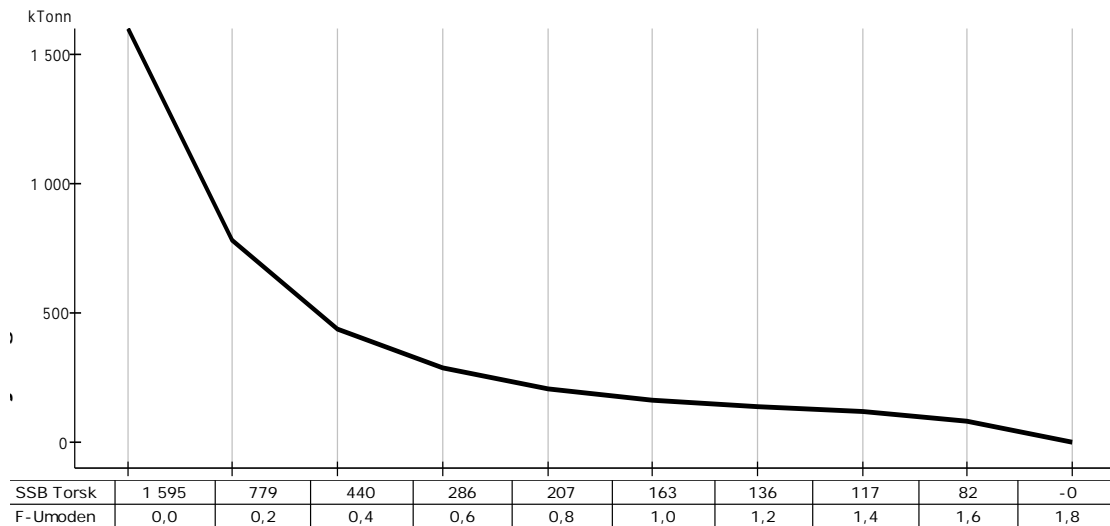




**Figur 11.** Midlere årlig langtidsutbytte av torsk i tusen tonn versus fiskedødeligheten F.



**Figur 12.** Midlere rekruttering i millioner individer torsk som ett- (øverst) og tre-åringer versus fiskedødeligheten F.



**Figur 13.** Midlere gytebestand (SSB) torsk i tusen tonn versus fiskedødelighet F.

De viktigste resultatene kan oppsummeres slik:

Optimalt midlere årlig langtidsutbytte av torsk for perioden er simulert til 707 000 tonn, og oppnås med en fiskedødelighet  $F = 0,8$  på umoden fangstbar torsk, og  $F = 1,12$  på moden fisk. Det tilsvarende en midlere gytebestand er på 207 000 tonn. Reduseres fiskedødeligheten til  $F_{\text{umoden}} = 0,4$  ( $F_{\text{moden}}=0,56$ ), reduseres det årlige langtidsutbyttet til 589 000 tonn d.v.s. omlag 15 %, men gir en økning i gytebestanden på over 100 % (til 440 000 tonn). Rekrutteringen til den fangstbare bestand ( $R_{3+}$ ) øker med økende gytebestand inntil 286 000 tonn ( $F_{\text{umoden}} = 0,6$ ), men avtar med større bestander (mindre F) på grunn av økende kannibalisme.

## Internasjonal forvaltning av torsken i Barentshavet

Det internasjonale råd for havforskning (ICES) er rådgivende organ for forvaltningen av fiskeressursene i Barentshavet og utøver virksomheten gjennom 'Advisory Committee on Fishery Management' (ACFM). For mange bestander har ACFM etablert grenseverdier, kalt referansepunkt, for gytebiomassen ( $B_{\text{lim}}$ ), som antas å representere minimum gytebiomasse som må til for at rekrutteringen skal være 'normal'. Videre har en beregnet den maksimale fiskedødeligheten ( $F_{\text{lim}}$ ), som på lang sikt med normal rekruttering fører til gytebiomassen  $B_{\text{lim}}$ . Fordi prognosene er usikre, har ACFM også beregnet såkalte 'føre var' verdier ( $B_{\text{pa}}$  og  $F_{\text{pa}}$ ). Disse bygger på statistiske modeller uten biologisk relevans, og skal sikre at gytebestanden ikke blir mindre enn  $B_{\text{lim}}$ . I praksis er det vanligvis den fangstkvote som svarer til  $F_{\text{pa}}$  som ACFM anbefaler.

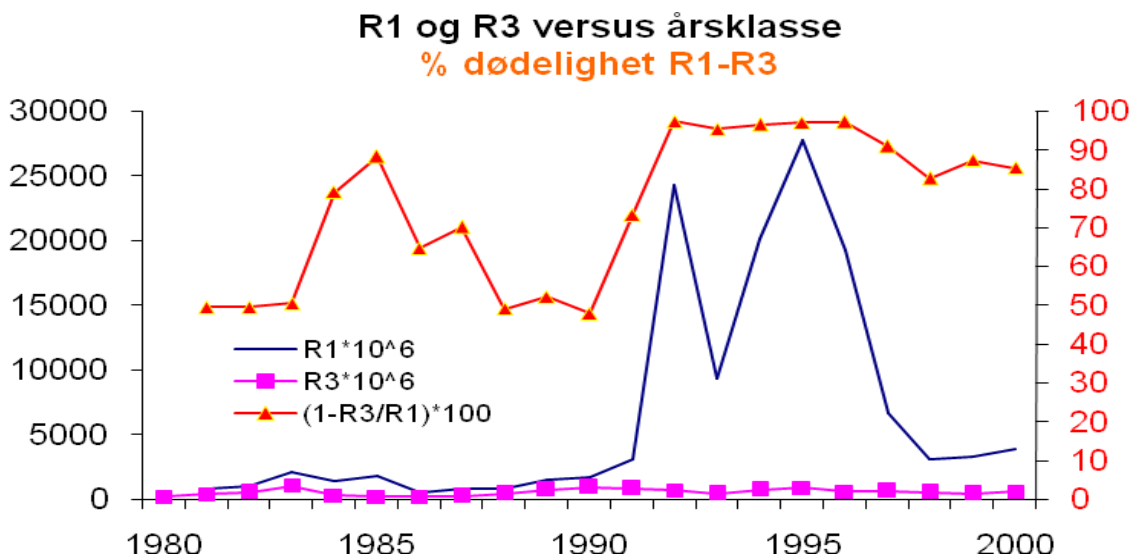
Dette er basis for kvoteanbefalingene. For torsk er  $B_{\text{lim}}$  og  $B_{\text{pa}}$  beregnet til hhv. 220 000 og 460 000 tonn, svarende til fiskedødeligheter  $F_{\text{lim}} = 0,74$  og  $F_{\text{pa}} = 0,4$  henholdsvis. Dette betyr at  $B_{\text{lim}}$  og tilsvarende  $F_{\text{lim}}$  nærmest er identiske med de F- og tilsvarende SSB-verdier som ifølge modell resultatene gir optimalt langtidsutbytte. Føre-var-prinsippet som ACFM anvender som referanse for sine råd, mer enn fordobler minstekravet til gytebestand for å sikre 'normal' rekruttering. Det reduserer anbefalt fiskedødelighet til henimot det halve av

$F_{lim}$  og føre til en betydelig underbeskatning av torskbestandens dersom resultatene fra modell simuleringene er tilnærmet reelle.

## Vurdering av resultatene

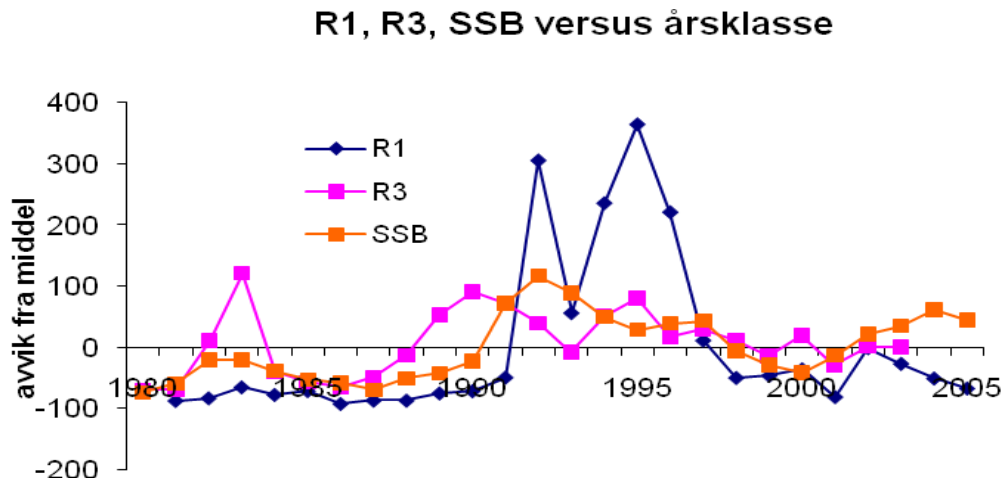
En overordnet målsetning for dette prosjektet har vært å utvikle et operasjonelt verktøy for evaluering og kvantifisering av biomasseproduksjonen i Barentshavet. Videre så man for seg at en klima relatert flerbstandsmodell kunne bli nyttig for forståelsen av dynamikken i systemet. Den pedagogiske verdi av en slik modell er åpenbar også om usikkerheten er stor med hensyn til resultatene. Mål for denne usikkerheten ved hjelp av statistiske metoder er imidlertid vanskelig å håndtere fordi viktige parametere i modellen er innbyrdes avhengige variable, og variansen således ikke tilfeldig (stokastisk) variasjon. Påliteligheten i simuleringen av de biologiske prosessene må derfor i stor utstrekning baseres på skjønn, og i denne vurderingen er det naturlig å se på hvordan resultatene stemmer overens med relevante historisk målte data.

Modellen tilsier at når bestanden kommer over en viss størrelse, reduseres rekrutteringen til den fangstbare bestand ( $R3+$ ). At dette skjedde i 1990 årene fremgår av Figur 14. I årene 1992-1997 ble årsklassene redusert med over 90 % i antall før de var blitt 3 år gamle.



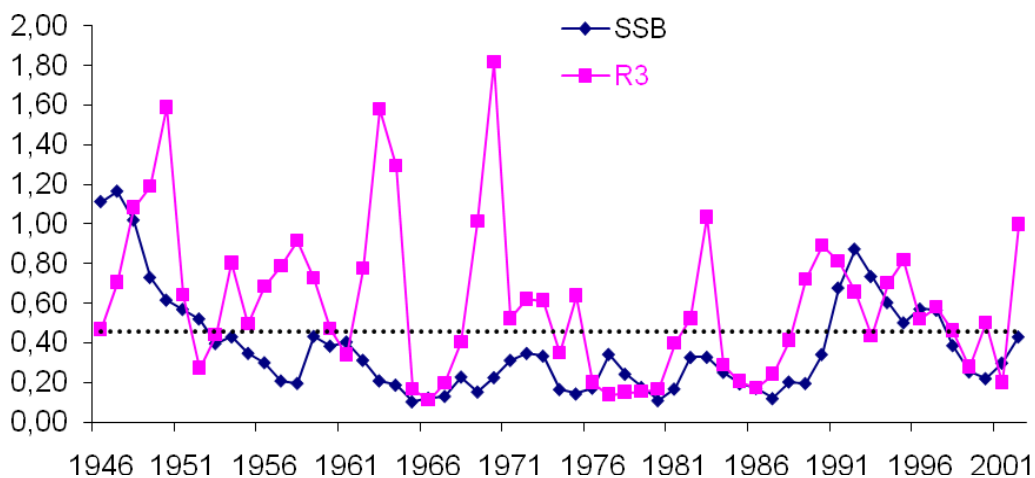
**Figur 14.** Torskeårsklassene 1980–2000, målt som 1- og 3-åringer (mill. ind.) og tilsvarende bestandsreduksjon (%), på grunn av kannibalisme.

Dette kommer klarere frem i Figur 15 som viser forandringene (anomalier) i R1, R3 og tilsvarende SSB for årsklassene 1980-2003.

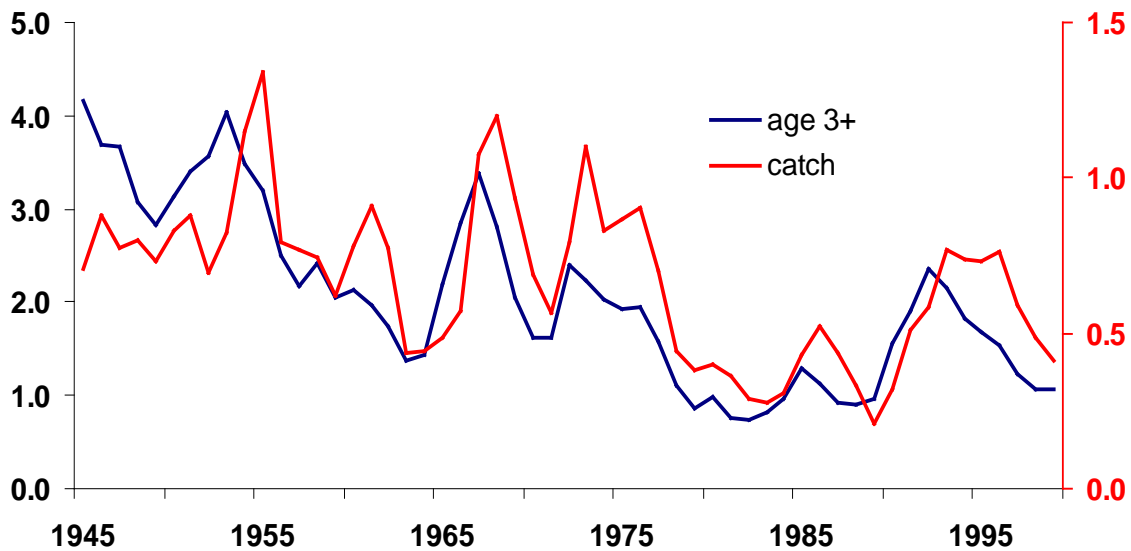


**Figur 15.** Plott av gytebestand og rekruttering som ett- og treåringer (avvik i %).

Figuren viser at skjønt om både gytebestand og R1 vokser betydelig fra 1990 til 1993, synker rekrutteringen (R3) til den fangstbare bestand. I denne perioden vokste gytebestanden fra under 300 000 tonn til over 700 000 tonn. Grunnen var økt tilgang på lodde (1989-årsklassen). Videre viser historiske data at de sterkeste årsklassene av torsk målt som 3-åringer etter 1950-årsklassen er rekruttert fra gytebestander under 300 000 tonn (Figur 16), og at års fangster over 700 000 tonn torsk i gjennomsnitt er blitt landet både i 1960- og 70-årene (Figur 17). Disse forhold styrker tilliten til de simulerte resultatene fra modellen.



**Figur 16.** Gytebestand (mill.tonn) av torsk (SSB) og tilsvarende rekruttering (milliarder ind.) som 3-åringer (R3). Den prikkede linjen på 0,46 mill. tonn tilsvarende den Bpa ACFM legger til grunn for sine kvote anbefalinger for torsk.



Figur 17. Fangst og bestand av tre år og eldre torsk i millioner tonn.

## Konklusjon

Optimalt årlig langtidsutbytte av torsk er simulert til 707 000 tonn, og oppnås med en lengde basert fiskedødelighet  $F = 0,8$  på umoden fangstbar torsk og  $F = 1,12$  på moden fisk. Reduseres fiskedødeligheten på umoden fisk til 0,4 ( $F_{\text{moden}}=0,56$ ), reduseres det årlige langtidsutbyttet med ca. 15 %, men gir en økning i gytebestanden på nærmere 100 %. Rekrutteringen til den fangstbare bestand ( $R_{3+}$ ) øker med økt beskatning inntil gytebestanden reduseres til under 300 000 tonn (286 000 tonn). Blir gytebestanden større, reduseres  $R_3$  på grunn av kannibalismen. Ved lav beskatning ( $F < 0,4$ ,  $SSB > 440\ 000$  tonn) er dødeligheten fra 1. til 3. år beregnet til over 80 %.

Ut fra en helhetsvurdering indikerer simuleringene at ACFMs råd til forvaltning av torskebestanden, basert på referansepunktet  $B_{pa}$ , er for konservativt dersom siktemålet er å oppnå et optimalt langtids utbytte av torsken i Barentshavet. Modellen indikerer at skal en på sikt kunne oppnå et tilnærmet optimalt utbytte, må kravet til minimum gytebestand av torsk senkes til under 300 000 tonn, det vil si ned mot en torskebestand som tilsvarer referansepunktet  $B_{lim}$ . Referansepunktet bør i tilfelle omdefineres til  $B_{max}$ .