

Modellverktøy for beregning av størrelse og beskatning av fiskebestander ut fra fangst- og toktdata har blitt gradvis utviklet over 20–30 år, og har nå nådd et stadium der tilgangen på gode data antagelig er den største begrensingen. Nye tanker om langsiktige strategier for forvaltningen krever nye verktøy som kan belyse både mulighetene for å nå forvaltningsmål og risikoen for bestanden ved ulike strategier. Artikkelen forklarer hvordan verktøy for bestandsberegning og simulering virker, og gir eksempler på forvaltningsregler for noen av våre viktigste bestander.

Dankert Skagen

dankert.skagen@imr.no

Bjarte Bogstad

bjarte.bogstad@imr.no

Sigurd Tjelmeland

sigurd.tjelmeland@imr.no

Odd Nakken

odd.nakken@imr.no

Historisk bakgrunn

Forskningens råd til myndighetene om forvaltning av fiskebestander har i hovedsak vært et råd om neste års kvote. Grunnlaget for dette rådet er beregninger av bestandens størrelse og beskatning gjort av ICES. Rådene utformes ved at beregningene sammenholdes med bl.a. etablerte standarder for føre-var-forvaltning, vedtatte forvaltningsregler og fisket de siste årene. Hva det skal gis råd om er nedfelt i avtaler mellom ICES og forvaltningsorganisasjonene (NEAFC, EU, Den norsk-russiske fiskerikommisjon, o.a.).

Denne rådgivningen har røtter 30–40 år tilbake. I løpet av 1960-årene ble det klart at omfanget av fisket hadde desimert flere bestander. Samtidig ble det utviklet metoder for å beregne størrelsen på bestanden ut fra fangststatistikk. Dette la grunnlaget for regulering ved hjelp av vitenskapelig funderte kvoter.

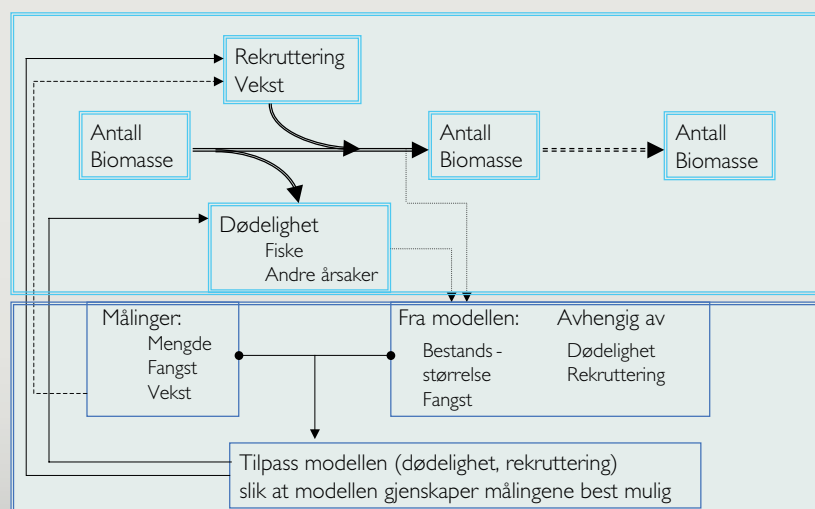
ICES har etablert et stort apparat for å gjøre bestandsberegningene. Det omfatter både

innsamling av data fra fisket, nasjonale og internasjonale tokt, arbeidsgrupper i ICES som utfører beregninger av bestand og beskatning samt prognoser for bestandsutviklingen de nærmeste årene, og utforming av de endelige rådene. Metodene for å beregne bestand og beskatning har også utviklet seg gjennom årene. Utover på 1970-tallet tok man i bruk mengdemålinger fra tokt (akustikk, trål og eggteiling) og merke-/gjenfangstresultater som supplement til fangststatistikken. Senere har det bl.a. vært en utvikling i retning av å tilpasse modellen til egenskapene ved bestanden og dataene, som beskrevet lenger nede. I dag er antagelig den viktigste begrensningen tilgangen på data, slik at mer presise og pålitelige beregninger heller er et spørsmål om mer pålitelige og adekvate data enn om mer avanserte modeller.

Nye tanker om forvaltning skaper nye behov

Både i forskningsmiljøene og blant forvaltere er prosesser i gang i retning av en endret og utvidet rådgivning. Noen viktige momenter her er:

Kvoteregulering, som rådgivningen hovedsakelig har vært innrettet mot, har fungert bra i noen tilfeller, men slett ikke i alle. Dels henger dette sammen med at kvotene bare dekker en del av det samlede fangstuttaket, dels at beregningene ikke har vært så nøyaktige som en ren kvoteregulering vil kreve, spesielt når beskatningen er høy. I mange tilfeller har beregningene, og der-



Figur 5.2.1

Prinsskisse av en bestandsberegningmodell. Øverst, en modellbestand som endres fra år til år pga. rekruttering, vekst og dødelighet. Nederst, tilpasning av modellbestanden (dvs. valg av dødelighet og rekruttering) til det vi har av målinger fra den virkelige bestanden. Outline of a stock assessment model. Upper part: A model stock that changes from year to year due to recruitment, growth and mortality. Lower part: Fitting the model stock (by selecting mortalities and recruitments) to observations from the real stock.

med anbefalingene, vært for optimistiske, slik at de tilrådte kvotene har vært høyere enn det som i etterkant har vist seg å være forsvarlig.

Næringsutøvere og myndigheter er i økende grad opptatt av forutsigbarhet og stabilitet. Et utslag av dette er at myndighetene, i samråd med forskningen, utarbeider regler (Harvest Control Rules) for hvordan neste års kvote skal fastsettes når årets beregninger foreligger. Reglene skal sikre at bestanden ikke blir for hardt beskattet samtidig som kvoten blir mest mulig stabil fra ett år til et annet. Slike regler er vedtatt for en rekke av våre viktigste bestander, bl.a. for nordøstarktisk torsk og begge de store sildebestandene våre, og flere er underveis.

En videreføring av dette er å utarbeide forvaltningsstrategier, der langsiktige målsettinger inngår, og virkemidler (kvoter, innsatsregulering og tekniske bestemmelser) for nå målsettingene, handlingsregler for forvaltningen, håndhevelse og tiltak for å skaffe nødvendige data. ICES er i gang med å utrede retningslinjer for hvordan slike forvaltningsstrategier kan evalueres, og Havforskningsinstituttet er aktivt med i dette arbeidet. For at en strategi skal være forenlig med føre-var-forvaltning, må den sikre bestanden mot å bli uforsvarlig liten. Forskningen kan også bidra med å kartlegge hva som må gjøres for å nå forskjellige målsettinger og identifisere faktorer som er kritiske for at en strategi skal fungere. Å utarbeide en langsiktig forvaltningsstrategi er en omfattende oppgave der forskningen må bidra i en dialog med forvaltningen i hele prosessen.

Der er også et sterkt ønske både fra forvaltning og forskere om å se fiskerireguleringene i et videre perspektiv. Økosystembasert forvaltning innebærer både at

reguleringene tar hensyn til økosystemets påvirkning på bestanden, i den grad denne påvirkningen er mulig å forutse, men også at bestandens rolle i økosystemet tillegges vekt. Både for vår egen forskning og for det internasjonale arbeidet i ICES er dette store utfordringer.

Hvordan vi kan møte utfordringene?

En viktig del av arbeidet er å lage verktøy som setter oss i stand til å belyse følgene av forskjellige forvaltningstiltak. Måten å gå frem på er å simulere kunstige bestander, med egenskaper som ligner mest mulig på de virkelige. Med slike bestander kan vi så eksperimentere med forskjellige former for beskatning. Vi kan la bestandene endre egenskaper, f.eks. slik vi har observert at de vil reagere på endringer i miljøet. Siden vi nå kjenner 'fasiten' kan vi også studere hvor godt vi kan beregne bestanden med varierende kvalitet av dataene.

Slike beregninger kan overføres på den virkelige verden dersom våre simulerte bestander har de riktige egenskapene. Vi må derfor vite mest mulig om de bestandene vi vil studere slik at vi vet hvilke egenskaper våre kunstige bestander skal ha, og vi må kartlegge hvilke egenskaper som i praksis betyr mest for sluttresultatet.

Hvordan fungerer modellene?

Figur 5.2.1 viser en prinsippkisse av en bestandsberegningsmodell. Den har to hoveddeler. Den ene (øverst) er en modell av en bestand, der antall fisk og biomasse endres fra ett år til det neste. Endringene skyldes at nye individer kommer til (rekruttering) og at individene vokser, og tap fordi fisk dør. Vanligvis deler vi bestanden opp i årsklasser, som vi kan følge over tid. Fordelen er at en årsklasse bare forandrer seg i antall fordi fisk dør. Det forenkler modellen betraktelig. Den andre hoveddelen (nederst) er å tilpasse

resultater fra bestandsmodellen til fangster og målinger vi gjør på tokt. Det er flere måter å gjøre dette på, det viktigste skillet går på om vi forutsetter at de observerte fangstene er riktige eller ikke, fordi dette avgjør hvor sterkt vi vektlegger fangstdata i forhold til andre målinger i tilpasningsprosessen.

I en simuleringsmodell som vist i Figur 5.2.2, har vi også en modell for bestanden (øverst), tilsvarende det vi har i en bestandsberegning. Men her har vi i den andre hoveddelen (nederst) bygget inn forvaltningsregler, som bestemmer hvordan beskatningen skal være. Vår simulerte bestand blir så utsatt for denne beskatningen, og vi kan følge utviklingen over tid. Slik kan vi se både om bestanden tåler den planlagte beskatningen, og undersøke hvor godt regelen fungerer i forhold til forvaltningens målsettinger.

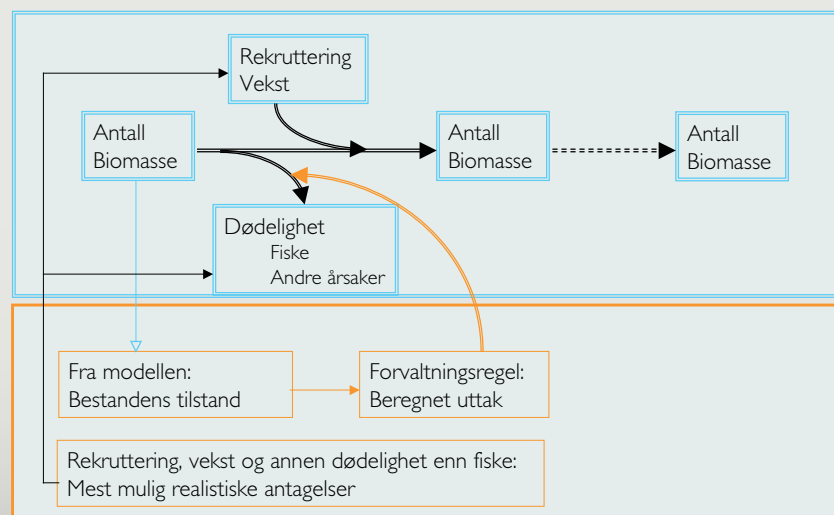
I slike simuleringer inngår faktorer som vi ikke kan spå eksakt i fremtiden, spesielt rekruttering og vekst, og hvilke aldersgrupper som vil bli beskattet. Vi kjører derfor en slik modell mange ganger, og velger rekruttering og vekst tilfeldig hver gang fra fordelinger som gjenspeiler variasjonen slik vi har sett den historisk. Vi får da frem usikkerheten i resultatene, og vi får vite om forvaltningsregelen fungerer godt nok når naturen varierer slik vi venter den vil gjøre. For eksempel kan vi se om en regel for å stabilisere kvotene fra år til år fungerer når vi har en slik blanding av sterke og svake årsklasser som vi må regne med for den bestanden vi betrakter.

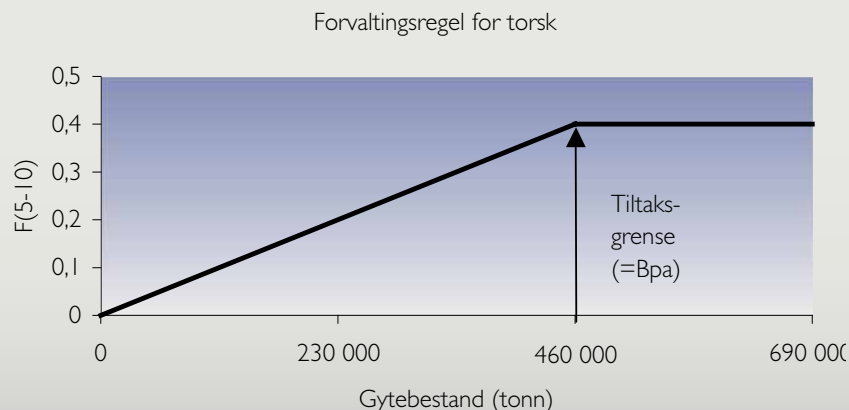
Eksempler på modeller

Utviklingen på dette feltet skjer i mange land, og der er et utstrakt samarbeid, ikke minst gjennom ICES. Havforskningsinstituttet har vært tidlig ute med simuleringer, både av enkeltbestander og av komplekse

Figur 5.2.2

Prinsippkisse av en simuleringsmodell. Øverst, en modellbestand som endres fra år til år pga. rekruttering, vekst og dødelighet. Nederst, en forvaltningsregel som bestemmer uttaket fra bestanden. Outline of a simulation model. Upper part: A model stock that changes from year to year due to recruitment, growth and mortality. Lower part: A management rule that determines the removal from the stock.



**Figur 5.2.3**

Hovedregelen for forvaltning av nordøstarktisk torsk. Fiskedødeligheten reduseres hvis gytebestanden faller under en tiltaksgrense, som ble satt lik gjeldende før-var-nivå (B_{pa}). Når bestanden er større, beregnes en kvote svarende til en fast fiskedødelighet. The main harvest control rule for Northeast Arctic cod. The fishing mortality is reduced if the spawning stock biomass falls below a trigger level, that was set equal to the current precautionary biomass level (B_{pa}). When the stock is larger, the quota is calculated according to a fixed fishing mortality.

systemer. Fra et metodologisk synspunkt er ikke avstanden mellom beregningsmetoder og simuleringer særlig stor. Arbeid med bestandsberegning og simulering av forvaltningsregimer går derfor hånd i hånd, og grensen er ofte flytende. Vi vil omtale nærmere noen modeller hvor Havforskningsinstituttet har bidratt til utviklingen, aleine eller sammen med andre. Disse eksemplene viser også forskjellige retninger utviklingen har gått i.

Komplekse modeller

Her tar vi sikte på å utnytte den kunnskapen vi har til å gi en ganske detaljert beskrivelse av en eller flere bestander. Slike modeller blir svært omfattende, men gjør det mulig å simulere et bredt utvalg av prosesser. Disse modellene tar hensyn både til størrelse og alder på fisken i bestanden, områdefordeling og vandring, og gjensidig påvirkning av flere bestander. En forløper for dette arbeidet var utviklingen av en flerbandsmodell for Barentshavet i 1980-årene. Forskjellige avleggere av denne er stadig i bruk, f.eks. når vi tar hensyn til hvor mye lodde torsken vil spise når kvoten på lodde skal beregnes.

Fleksibest, en modell som ble utviklet ved Havforskningsinstituttet i siste halvdel av 1990-årene er en enbestandsmodell først og fremst for beregning av den historiske utviklingen av en bestand, med basis i alders-/lengdestrukturen. Tanken bak dette var at beskatningsmønsteret, dvs. forholdet mellom beskatning av gammel og ung fisk, er mer knyttet til størrelsen på fisken enn alderen. Viktige arter i våre farvann, f.eks. torsk, har ganske variabel vekst, avhengig av næringstilgang, klimaforhold osv. Fleksibest ble laget for å kunne ta hensyn til at variasjon i veksten påvirker alderssammensetningen i fisket.

Utviklingen de siste årene har gått mot å kunne inkludere flere prosesser og datakil-

der i modellene. Hensikten er i første rekke å kunne studere nytten av å inkludere prosesser som man tenker seg kan ha betydning, og så beholde dem som viser seg å være viktige. Dette arbeidet har vært et samarbeid mellom flere institutter, inkludert Havforskningsinstituttet.

Standard bestandsberegningsmodeller

Den rutinemessige beregningen av de fleste bestandene våre gjøres med standard aldersstrukturerte metoder. I disse metodene er der bygget inn forutsetninger som enkelte ganger ikke passer. Dette har ledet til utvikling både av generelle beregningsverktøy som gir større valgfrihet til å tilpasse modellen til egenskapene til bestanden og til tilgangen på data, eller til spesialiserte verktøy tilpasset behovene for en enkelt bestand. Havforskningsinstituttet har det utviklet et beregningsverktøy (AMCI) som gir brukeren større mulighet til å tilpasse modellen etter behov. AMCI brukes for tiden på kolmule, og på enkelte EU-bestander. Dessuten brukes det som støtte i beregningen av en del andre bestander. Det gjelder bl.a. makrell, hvor vi har merkedata som modellen kan utnytte.

Det er også skreddersydd en beregningsmodell for norsk vårgytende sild (SeaStar). Den er spesielt innrettet på å håndtere en bestand som domineres av noen få svært sterke årsklasser, og er dessuten tilpasset tilgangen på data for denne bestanden, bl.a. merkedata. Det er meningen at den skal avløses av en ny modell, som blir utviklet i samarbeid med russiske forskere.

Lengdebaserede modeller

Normalt vil man foretrekke aldersstrukturerte modeller, hvor hver årsklasse kan følges over tid. Dette er ikke alltid mulig, enten fordi fisken er vanskelig å aldersbestemme, eller fordi bestanden ikke betraktes som viktig nok til å forsvare et

ressurskrevende program for aldersbestemmelse. I slike tilfeller kan lengdestrukturerte modeller være et alternativ. Vi har laget en modell som spesielt er beregnet på å beregne bestanden med bare lengdefordelte toktdata, dvs. der hvor der ikke er tilgang på gode nok data fra fisket. Den viktigste bruken så langt har vært å kartlegge begrensningene i hva som kan oppnås med så sparsomme data.

Simulering av forvaltningsregler

Som nevnt er der et nært slektskap mellom bestandsberegning og simulering. Mange bestandsberegningsmodeller er laget slik at de i prinsippet fungerer som simuleringmodeller, men modeller laget spesielt for simulering er bedre til å gjenskape forvaltningens handlingsregler, spesielt regler for høstningskontroll (Harvest Control Rules).

Simuleringer av relativt enkle regler for høstningskontroll har vært gjort for mange bestander innen EU og av EU og Norge i fellesskap de siste årene. Regelen har typisk bestått i en fast fiskedødelighet som reduseres hvis bestanden kommer under en viss grense (se Figur 5.2.3), kombinert med en regel om at kvotene ikke skal endres med mer enn en viss prosent fra ett år til det neste. En viktig erfaring fra dette arbeidet har vært at relativt enkle modeller har blitt mest brukt i praksis, mens komplekse modeller har hatt en tendens til å skape mer problemer enn de løser. Det meste av arbeidet er blitt gjort med et enkelt simuleringsverktøy som ble utviklet ved Havforskningsinstituttet i 1996–97 i forbindelse med etableringen av forvaltningsregimet for nordsjøisild, og som siden har blitt utvidet og forbedret.

Da forvaltningsregelen for nordøstarktisk torsk skulle undersøkes, fantes ingen programmer som kunne simulere den regelen som forelå. Regelen var vanskelig å bygge

inn i eksisterende simuleringsprogram, og det ble laget et nytt program. Selv om det ble laget for å simulere nordøstarktisk torsk, er det enkelt å utvide og anvende på andre bestander etter behov.

Eksempler på forvaltningsregler

Forvaltningsregelen for nordøstarktisk torsk
Høsten 2002 foreslo Den blandete norsk-russiske fiskerikommisjon en forvaltningsstrategi for nordøstarktisk torsk. Strategien innebar at gytebestanden skulle holdes over føre-var-nivået ($B_{pa} = 460\,000$ tonn) samtidig som fangstkvotene skulle variere lite fra ett år til et annet. I samarbeid med kommisjonen har ICES evaluert den strategien som ble foreslått, og modifisert den slik at den nå er i tråd med føre-var-prinsippet under forutsetning av at fangstkvantumet er og blir riktig rapportert.

Hovedtrekkene i regelen er vist i Figur 5.2.3. Så lenge gytebestanden er over føre-var-nivået kan fangstkvoten tilsvare en beskatning på føre-var-nivået. Der som gytebestanden kommer under føre-var-nivået, skal beskatningen reduseres tilsvarende.

Imidlertid er det noen tilleggskriterier som gjør at beregningene blir noe mer kompliserte. For å utjevne svingninger i bestanden, skal kvoten for neste år beregnes som gjennomsnittet av en føre-var-beskatning neste år og i de to etterfølgende årene. Dessuten skal ikke endringene i kvoten fra år til år være større enn 10 %. Men, for at regelen skal være i tråd med føre-var-prinsippet, kom man fram til at regelen om maksimalt 10 % endring fra år til år ikke skal gjelde når gytebestanden blir under føre-var-nivået neste år eller i minst ett av de to etterfølgende årene.

Forvaltning av lodde i Barentshavet

Forvaltning av lodde står i en særstilling. Fisket er rettet mot gytende lodde, som stort sett vil dø etter at den har gytt. Forvaltningsstrategien er tilpasset dette: Den skal sikre at nok lodde får gyte til å kunne produsere normale årsklasser, så kan resten

av den modne lodda fiskes. Regelen som er etablert er at fisket skal begrenses slik at det er minst 95 % sannsynlighet for at mer enn 200 000 tonn lodde får gyte.

Bestanden måles akustisk på et norsk-russisk tokt om høsten. Estimater fra dette toktet blir oppfattet som en absolutt måling av bestandsstørrelsen. I motsetning til hva som er tilfellet for andre bestander hviler altså ikke vår oppfatning av bestandsstørrelsen på en modell, men på direkte måling. Også slik står lodda i en særstilling. Men deretter er vi avhengig av en modell for å beregne størrelsen av gytebestanden omkring 1. april ut fra toktestimatet i september året før. I denne beregningen inngår en modell for modning og en modell for beitingen fra torsk under gyteinniset. Forvaltningen av loddebestanden er dermed et steg på veien mot en flerbestandsforvaltning av artene i Barentshavet.

Modellene for modning og beiting fra torsk er tilpasset data ved hjelp av en flerbestandsmodell kalt Bifrost. Et stort datatilfang er nyttet, fra mageprøver og målinger av magetømmingsraten hos torsk, til temperaturdata og toktdata både for lodde og torsk. Det arbeides for tiden med å utvikle flerbestands forvaltningsregler for Barentshavet basert på modellen Bifrost.

Forvaltningsregelen for nordsjø-sild

I 1997–1998 utarbeidet Norge og EU en forvaltningsplan for bestanden. Planen ga anvisning på hvor høy fiskedødeligheten skulle være når bestanden var over en tiltaksgrense på 1,3 millioner tonn. Denne grensen ble senere vedtatt som føre-var-nivå (B_{pa}) av ICES. I planarbeidet ble det gjort omfattende simuleringer av forskere fra Havforskningsinstituttet og flere EU-land for å kartlegge hvor stort fiskepress bestanden ville tåle hvis man skulle være rimelig trygg på å unngå at bestanden falt ned mot kritisk lavt nivå (B_{lim} -nivå 800 000 tonn). Spesielt ble det lagt vekt på forholdet mellom uttak av voksen sild og ungsild. I ICES var dette den første bestanden der en

langsiktig forvaltningsplan ble basert på slike beregninger. Resultatet ble en samlet avtale der fiskedødeligheten på ungsild og eldre sild ble spesifisert hver for seg. Avtalen omfattet dessuten fordelingen av kvotene mellom Norge og EU, og mellom konsumfiske og bifangster i industrifisket. Avtalen har senere blitt utvidet med en regel for hvordan fiskedødeligheten skal reduseres når bestanden kommer under føre-var-nivået og en regel som begrenser hvor mye kvoten kan endres fra ett år til det neste.

En ytterligere komplikasjon med forvaltningen av nordsjø-sild er at sildefisket i Skagerrak beskatter en blanding av denne bestanden og baltisk vårgytende sild. Tidligere ble kvoten i Skagerrak først og fremst bestemt av hensynet til nordsjø-silden, men i fremtiden skal tilstanden til begge bestandene taes i betraktning. I øyeblikket er vi i gang med å lage en revidert simuleringsmodell for beskatningen av sild i Skagerrak i et samarbeid mellom norske og danske forskere.

New model tools for stock assessment

Model tools for stock assessment, i.e. estimation of stock abundance and exploitation based on catch and survey data have evolved gradually over 20–30 years, and have now reached a stage where the main limiting factor probably is the quality of the data. Recent developments in the direction of long term strategies for management requires new tools to evaluate both the possibility of reaching management objectives and the risk for the stock associated with various strategies. The article explains how assessment and simulation tools work, and gives examples of harvest rules for some of our most important stocks.