



Kapittel I

Om økosystemer



Hva er et økosystem?

Begrepet økosystem ble introdusert i 1935 av den britiske økologen Arthur Tansley, og er en forkortelse for økologisk system. Tanken bak er at et økosystem representerer en slags funksjonell enhet i naturen, og begrepet hjelper oss med å organisere våre observasjoner av levende organismer og hvordan de fungerer sammen. Biodiversitetskonvensjonen (1992) definerer økosystem som “et dynamisk kompleks av planter, dyr og mikroorganismer som i samspill med det ikke-levende miljø utgjør en funksjonell enhet.”

Are Dommasnes

are.dommasnes@imr.no

Et økosystem er således en konkret del av naturen som vi avgrensner ut fra økologiske kriterier. Havstrømmer og vind fører organismer inn i økosystemet og ut av det, og organismene påvirker hverandre direkte og indirekte gjennom “naturlige” grenser som for eksempel luft/vann og vann/land. Mange av artene i økosystemet forekommer bare i deler av det, eller har en utbredelse som strekker seg utenfor dets grenser.

Relasjonene mellom artene (deres plass i næringskjeden) kan også endre seg fra en del av økosystemet til en annen, eller over tid. Alle økosystemer vi definerer i naturen er derfor “åpne”, det vil si at de er forbundet med hverandre i større eller mindre grad. Ordet “dynamisk” i definisjonen av økosystem indikerer endring, aktivitet, dvs. at økosystemene er i stadig forandring. De vil være i forandring også uten menneskelig påvirkning, men forandringene blir kanskje ikke de samme.

Hvordan fungerer et økosystem?

Det fysiske miljøet utgjør en viktig og karakteristisk del av økosystemene. Bunn-dyp og bunntype (fjell, grus, mudder...), temperatur, saltholdighet og strømforhold skaper rammebetingelsene for de levende organismene og bestemmer hvilke orga-

nismer som kan leve hvor. På samme måte som på land er produksjonen i havet basert på fotosyntese i planter, som bruker energien i lys til å omdanne vann, kulldioksid (CO₂) og mineraler (særlig næringssalter) til oksygen og energirike organiske stoffer. I havet blir fotosyntesen vesentlig utført av mikroskopiske encellede planter som svever fritt i vannmassene (planteplankton). Nær land finnes det også større planter (tang og tare) som har festet seg til bunnen, men de har lav produksjon sammenlignet med planteplanktonet.

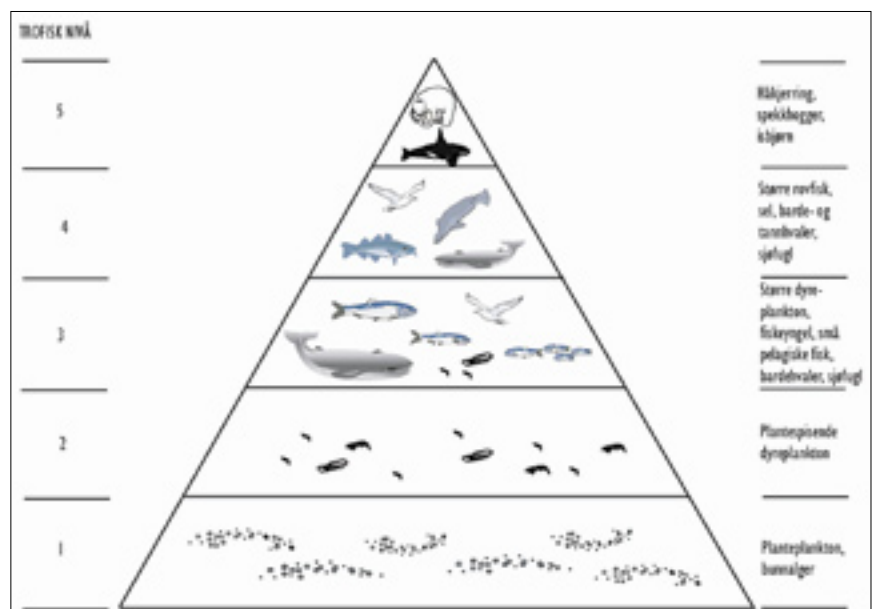
Plantene utgjør basis i næringskjedene

Alle andre organismer er avhengige av plantene for å overleve, vokse og formere seg – enten direkte, ved at de beiter på plantene – eller indirekte, ved at de er predatorer på planteeterne eller på dyr høyere opp i næringskjeden. Som et hjelpemiddel til å forstå næringskjedene organiserer vi planter og dyr i trofiske nivåer, avhengig av hvordan de plasseres seg i næringskjedene. De trofiske nivåene illustreres ofte med en næringspyramide (Figur 1.1.1). Plantene finnes på trofisk nivå 1, det laveste, mens organismer som er avhengige av plantenes produksjon av organisk materiale for å overleve – fra bakterier og sopp til mennesker og hval – plasseres seg høyere på skalaen. Trofisk nivå 2, like over plantene, består av organismer som vesentlig er planteetere og beiter på planteplanktonet, f.eks. krepsdyr som raudåte og krill,

Figur 1.1.1

En forenklet næringspyramide med trofiske nivåer og eksempler på organismer på forskjellige trofiske nivåer.

A simplified food pyramid with trophic levels and examples of organisms at different trophic levels.



pelagiske snegler (kruttåte) etc. Disse blir igjen spist av større dyr (større dyreplankton, fisk, etc.) som da sies å tilhøre trofisk nivå 3. De fleste dyr har en diett som spenner over flere trofiske nivåer, som for eksempel de største krillartene som spiser både plante- og dyreplankton. Derfor kan ikke krillen eller noe annet dyr plasseres i et eksakt trofisk nivå, og vi snakker heller om næringsnett enn om næringskjeder (Figur 1.1.2). Lodde og sild spiser mest dyreplankton og plasserer seg derfor over de fleste dyreplanktonartene i den trofiske strukturen. Torsk og hyse spiser mye fisk (lodde, sild), men også en del plankton og bunnorganismer, og havner over de planktonspisende artene. Hval og sel er predatorer på både dyreplankton og fisk, og avhengig av de enkelte artenes diett, vil de være typiske topp-predatorer slik som spekkhogger, eller planktonspisere som for eksempel blåhval. I tillegg finnes det på havbunnen en rekke mikroorganismer og større dyr som livnærer seg av dødt organisk materiale.

I et diagram som viser næringsnettet i et havområde vil noen arter fremstå som mer sentrale enn andre, fordi de er viktige predatorer på mange andre organismer og/

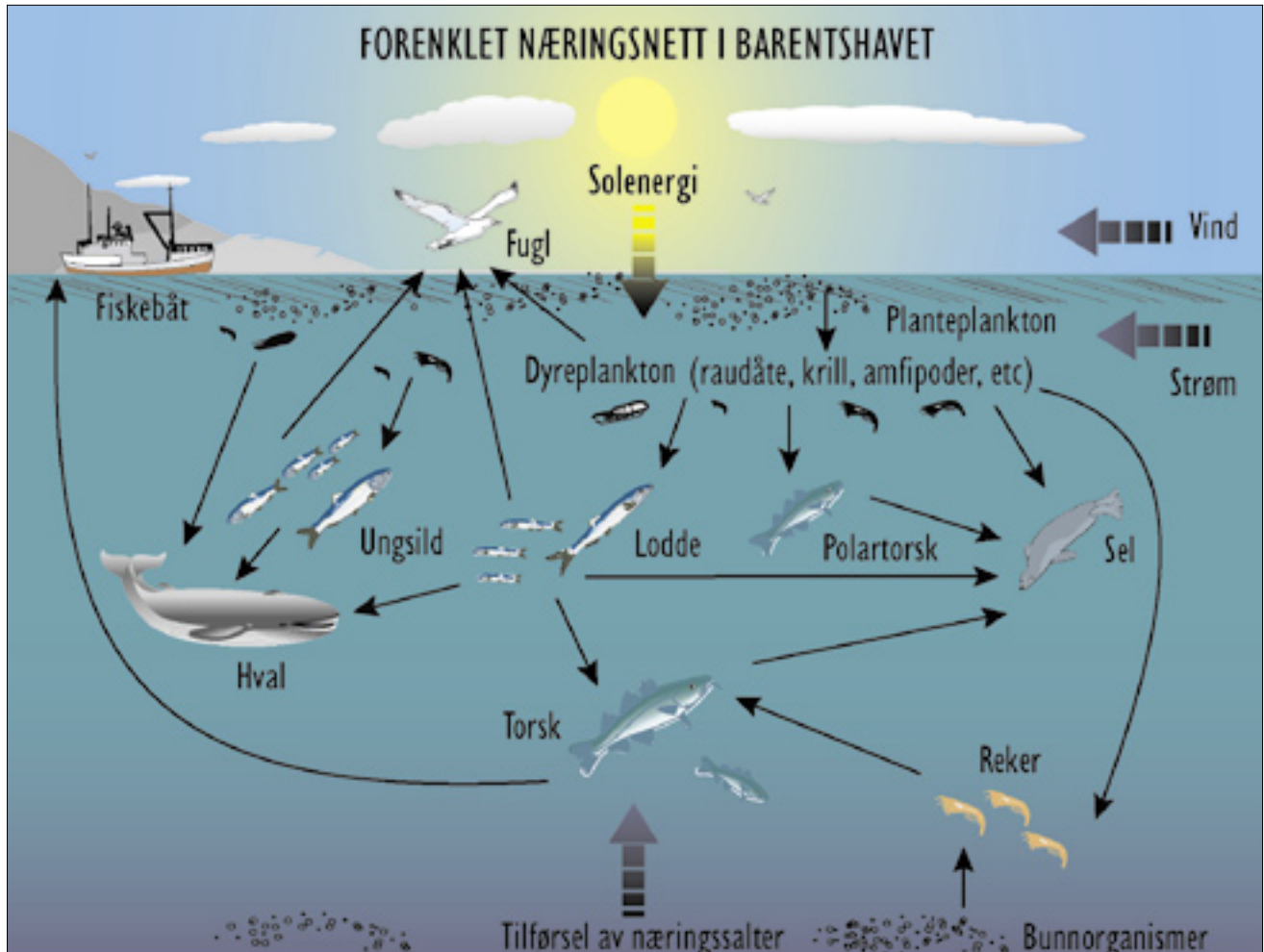
eller fordi de er viktige byttedyr for mange predatorer. Arter som står sentralt i næringsnettet, med mange og kvantitativt viktige forbindelser oppover og/eller nedover i nettverket, kaller vi nøkkelarter. Hvis en av disse skulle bli borte fra økosystemet, ville energiflyten gjennom næringsnettet måtte endre seg, med muligheter for store endringer også i økosystemenes produksjonsevne. Kopepoder utgjør halvparten eller mer av dietten for både sild og makrell i Norskehavet. Av kopepodene er raudåte uten sammenligning den viktigste, og må regnes som en nøkkelart. Hvis bestanden av raudåta ble kraftig redusert og delvis erstattet med noe annet, er det stor sannsynlighet for at sild og makrell måtte gå over til en diett som gav mindre vekst – dvs. disse pelagiske bestandene i Norskehavet kunne bli mindre – eller en annen pelagisk bestand kunne komme til å dominere i stedet.

Lodda i Barentshavet beiter vesentlig i den nordlige delen av havet, på produksjonen av dyreplankton i områdene som blir frilagt når iskanten trekker seg nordover om sommeren. Den gyter på senvinteren i den sørlige delen av Barentshavet, langs de nordlige kystene av Norge og Russland.

Her utgjør lodda den viktigste del av dietten for torskens om vinteren. Erfaringene viser at torskens vekst blir sterkt redusert når loddebestanden er lav og torskens må spise mindre byttedyr som dyreplankton. Lodda fungerer som en transportmekanisme som gjør produksjonen i det nordlige Barentshavet tilgjengelig for torskens i sør. I tillegg virker det som om beiting på lodde gir bedre vekst for torskens enn beiting på sild – kanskje fordi lodda er lettere å fange, slik at torskens energiforbruk blir mindre. Lodda i Barentshavet er definitivt en nøkkelart i produksjonskjeden fra planteplankton frem til større fisk som torsk.

Silda i Norskehavet og Barentshavet er også en nøkkelart, på flere måter. Når det er sterke årsklasser av norsk vårgytende sild, driver gjerne store deler av larvene inn i Barentshavet og vokser opp der de første tre årene, hvoretter de vandrer ut

Figur 1.1.2
Et forenklet næringsnett.
A simplified food web.



til Norskehavet. I den tiden ungsilda står i Barentshavet spiser de bl.a. mye av lodde-larvene, slik at det blir lite rekruttering til bestanden av eldre lodde – og, som vi har sett i avsnittet foran, fører dette til dårligere vekst for torsken. Vi får en endring i økosystemet og i produksjonen, selv om den er midlertidig. I Norskehavet beiter den eldre silda i frontområdene vest og nord i havet om sommeren, og har siden 1986 vandret inn til Ofotfjorden, Tysfjorden og Vestfjorden og stått der til sent i januar, hvoretter den vandrer ut og sørover langs kysten. Gyting skjer nå fra Vesterålen og helt sør til Lindesnes. Under perioden i fjordene, på vandringen sørover og på gytefeltene, er silda bytte for en rekke predatorer, fra torsk og sei, til hval og sjøfugl. I tillegg er også gyteproduktene (rogn og melke) en viktig matkilde for fisk, ærfugl og en rekke bunndyr og mikroorganismer. På samme måte som loda i Barentshavet, representerer silda i Norskehavet en mekanisme for å transportere planktonproduksjonen ute i havet inn til kysten og gjøre den tilgjengelig for konsumenter der. Når de store sildemengdene er borte fra kysten, som de var fra slutten av 1960-årene til midt i 1990-årene, betyr dette at tilførselen av organisk materiale fra vest opphører, og

det må ha hatt store konsekvenser for dyrelivet langs kysten, både i sjøen og i luften.

Hvilke økosystemer er definert i våre havområder?

Et eksempel på definisjoner av økosystemer som er i bruk er “store marine økosystemer” (Large Marine Ecosystems, LME). Dette er et system av relativt store kyst- og havområder over hele kloden (200.000 km² eller mer) som blir brukt som grunnlag for overvåking, tilstandsvurdering og forvaltning. Avgrensningen av LME-ene er etter økologiske kriterier, bl.a. distinkt eller karakteristisk bunntopografi, hydrografi og produksjon, og bestander som er knyttet sammen i næringsnett. I våre havområder er det definert tre slike LME-er: Barentshavet, Norskehavet og Nordsjøen.

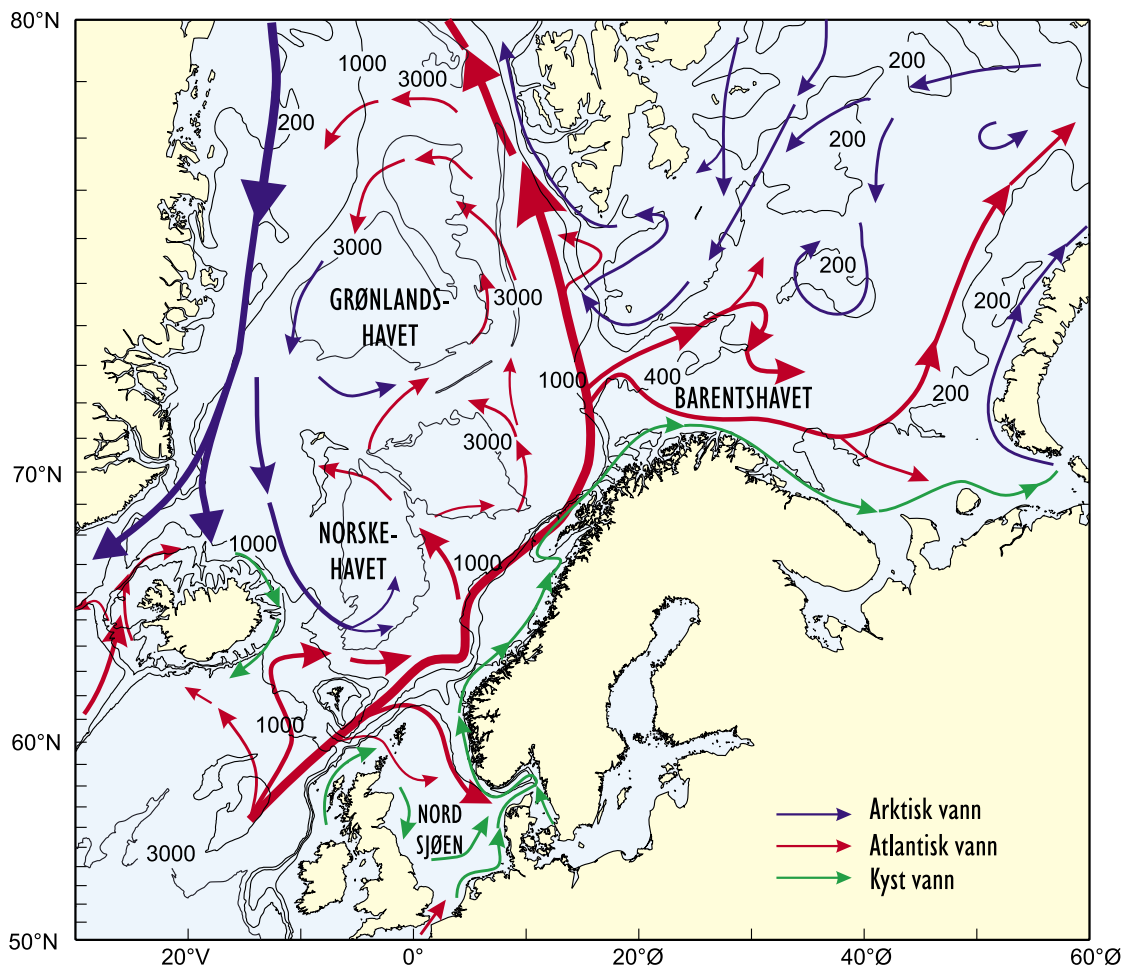
Bunntopografi og hydrografi gir særpreg til de store havområdene rundt Norge og er bestemmende for hva slags dyre- og plantesamfunn som finnes der. Norskehavet med sitt store dyp har viktige bestander av makroplankton og mikronekton, som samlet utgjør en stor biomasse (mer enn 100 millioner tonn). Bunntopografi og bunndyr spiller på den annen side en viktigere rolle for energistrøm og stoffomsetning i

sokkelhavene Nordsjøen og Barentshavet. I hvert av de tre havområdene er det flere fiskebestander som i hovedsak har hele sin livssyklus innenfor dette havområdet og som inngår i predator-/byttedyrrelasjoner i næringskjedene.

Nordsjøen er et grunt sokkelhav atskilt fra det dypere Norskehavet i nord og med forbindelse i øst til Østersjøen via Skagerrak og Kattegat, og i sør til Atlanterhavet via Den engelske kanal (Figur 1.1.3). Vannsirkulasjonen i Nordsjøen er i retning mot klokken. Den nordlige delen har gjennomstrømning av atlantisk vann ved strømgrenner fra den atlantiske innstrømningen, og i sør kommer det en mindre mengde atlantisk vann gjennom Den engelske kanal. Elvetilførsler og brakkvann fra Østersjøen bidrar til en kystvannmasse som renner nordover som Den norske kyststrømmen.

Nordsjøen blir i deler av året invadert av fisk fra nærliggende områder. I den nordlige delen kommer vestlig makrell fra områdene vest for De britiske øyer, og i den sørlige delen kommer taggmakrell opp gjennom Den engelske kanal. Ellers er sild den dominerende pelagiske arten.

Figur 1.1.3
Dybde- og strømforhold i havområdene rundt Norge.
Depths and currents in the seas around Norway.



Tidligere var også nordsjømakrell en stor bestand, og det har til tider vært betydelige mengder med brisling. Av bunnfisk er torsk, hyse, sei, hvitting, øyepål, tobis og rødspette de vanligste. Tidligere var pigghå en vanlig art. Historien viser perioder der forholdet mellom bunnfisk og pelagisk fisk forskyves.

Sjøfugl i Nordsjøen tar betydelige mengder småfisk og er avhengig av fiskeforekomstene. Sjøpattedyr, mest sel og småhval, er topp-predatorer i økosystemet.

Norskehavet er et avgrenset dyphav med to hovedbassenger. I den østlige delen er atlantehavsvann dominerende, men i vest er det kalde arktiske vannmasser. Frontene mellom disse vannmassene er viktige for fordelingen av plankton og for utbredelsen av fiskebestandene. De pelagiske artene sild, kolmule og makrell dominerer. Typisk er at Norskehavet ikke er et gyteområde, men oppvekst- og beiteområde for disse artene. Der er også store bestander av mesopelagiske arter som laksesild, lysprikkfisk og blekksprut. Bunnfisk som blåkveite, lange, brosme og uer opptrer helst i utkanten, langs kontinental-skråningen. Norskehavet er også et viktig oppvekst- og beiteområde for laks, og et viktig område for sel, hval og sjøfugl.

Barentshavet er et sokkelhav atskilt fra Norskehavet i vest og Nordishavet i nord. I sørøst grenser det opp mot Kvitsjøen, og mot øst er det forbindelse med grunnhav med kalde vannmasser i Karahavet. Atlantisk vann strømmer inn i Barents-

havet fra vest og blir gradvis omdannet ved avkjøling og blanding til kaldt arktisk vann. Det arktiske vannet renner ut av Barentshavet som Bjørnøyastrømmen i vest og som en dypere strøm mot Polbas-senget i nord. Det atlantiske vannet i sør og det arktiske vannet i nord er atskilt som en skarp front (Polarfronten) i det vestlige Barentshavet, mens skillet er mer gradvist og diffust i øst. Dette skillet i vannmasser er også et biogeografisk skille med ulike dominerende arter av dyreplankton i sør og i nord. Innstrømningen av atlantisk vann er variabel, og denne variasjonen har stor betydning for økosystemet, bl.a. gjennom variabel utbredelse av is og variasjon i de fysiske forhold for planktonproduksjonen.

Torsk og lodde er de dominerende fiskeartene i Barentshavet, men sild er også en viktig komponent i økosystemet. Bestanden av nordøstarktisk torsk er sterkt avhengig av lodde som næring. Umoden sild opptrer i store mengder når store årsklasser rekrutterer til bestanden. Andre viktige fiskearter er hyse, sei, uer, blåkveite, gapeflyndre og polartorsk. Det er også betydelige mengder med reke. Torsk, sild og sei har sine viktigste gyteområder utenfor Barentshavet. Uer og blåkveite er i stor grad knyttet til skråningen utenfor kontinentalsokkelen og har en uklar avgrensning i forhold til Norskehavet.

Hval og sel er viktige komponenter i faunaen i Barentshavet. Både hval- og selbestandene har tatt seg opp og konsumerer betydelige mengder fisk. Det er også store

kolonier med sjøfugl i deler av Barentshavet.

Kystområdene

Det er ingen klar økologisk grense mellom hav og kyst, og kystområdene må på mange måter betraktes som deler av de tre store økosystemene. Flere av de viktigste gytefeltene for de store havbestandene finnes på kystbankene og inne i fjordene, likeså deler av oppvekstområdene. Sild overvintrer på kysten, og seien har praktisk talt hele sitt oppvekstområde der.

Kysten har stort mangfold. Det er en rekke mindre områder som kan betraktes som økosystemer og som er utsatt for påvirkninger og trusler som må vurderes i mindre skala på lokalt nivå. Avgrensede områder som poller kan ha lokale fiskebestander og på mange måter utgjøre egne små økosystemer. Disse kan være viktige med tanke på biologisk mangfold. Av de viktigste kystegne fiskebestandene kan nevnes kysttorsk og brisling, og det finnes en rekke lokale rekeforekomster. Kysten er også viktig i livssyklusen til mange sjøfugler og sjøpattedyr.

Hvor stor er produksjonen i havet?

Med "produksjon" i denne forbindelse mener vi produksjon av levende biologisk materiale på forskjellige trofiske nivåer. Produksjonen på trofisk nivå 1 ("primærproduksjonen") i marine miljøer avhenger bl.a. av temperaturen og tilgangen på næringssalter og lys, og vil derfor variere fra område til område. Den er vanskelig å måle direkte, og det er også vanskelig å skaffe gode tall for de forskjellige faktorene som styrer den. I en nylig utkommet bok er den årlige primærproduksjonen i Norskehavet estimert til 2,2 milliarder tonn, referert til et areal på 1,1 millioner km², dvs. 2 kg biomasse per m² overflate. Dette er betydelig mer enn de verdiene som fremkommer ved direkte målinger.

Primærproduksjonen er grunnlaget for all produksjon på trofisk nivå 2 og høyere, og for hvert trofisk nivå blir produksjonen redusert fordi det meste av dyrenes konsum går med til å dekke energibehovet til forskjellige livsfunksjoner (bevegelse, formering, ekskresjon...), mens en relativt liten andel går til vekst, dvs. produksjon av ny biomasse som så blir tilgjengelig som mat for neste trofiske nivå. Forholdet mellom produksjon og konsum kan vi kalle "økologisk effektivitet". Som en tommelfingerregel har man regnet at effektiviteten er 10 %, selv om den er noe forskjellig for forskjellige organismer. En økologisk effektivitet på 10 % innebærer at produksjonen på et gitt trofisk nivå kan være maksimalt 10 % av produksjonen på nivået under. Også den økologiske effek-

Teoretisk mulig produksjon i Norskehavet (millioner tonn) på forskjellige trofiske nivåer med 10 % og 20 % økologisk effektivitet.
Theoretically possible production in the Norwegian Sea (million tonnes) on different trophic levels with 10 % and 20 % ecological efficiency.

Trofisk nivå	Økologisk effektivitet		Eksempler på grupper og arter
	10 %	20 %	
1	2 200	2 200	Planteplankton
2	220	440	Plantespisende dyreplankton (vesentlig små former, f.eks. raudåte), mikroorganismer
3	22	88	Større dyreplankton, fiskeyngel, sild, makrell, kolmule, bardehvaler, noen sjøfuglarter
4	2,2	17,6	Større rovfisk, sel, barde- og tannhvaler, mange sjøfuglarter
5	0,22	3,52	Håkjerring, spekkhogger, isbjørn

tiviteten må regnes som en svært usikker størrelse, og den ovennevnte boken bruker en økologisk effektivitet på 20 %, som gir en vesentlig høyere produksjon på de høyere trofiske nivåene.

Med utgangspunkt i den estimerte primærproduksjonen i Norskehavet på 2,2 milliarder tonn, kan vi beregne den teoretiske produksjonen på høyere trofiske nivåer, under forutsetning av at all biomasse som blir produsert på ett trofisk nivå blir konsumert av neste nivå. Det må understrekes at fordi forutsetningene for disse beregningene er svært usikre, så blir også produksjonstallene usikre.

Fiskeriene i Norskehavet beskatter vesentlig pelagisk fisk, men det blir også tatt mindre kvanta av flere bunnfiskarter. I økosystemsammenheng plasserer det oss mennesker på trofisk nivå 4, sammen med hval, sel og sjøfugl. Vi har foreløpig begrenset kunnskap om menyen til våre "konkurrenter" på dette trofiske nivået, og i hvilken grad de spiser fisk eller annet som vi er interessert i.

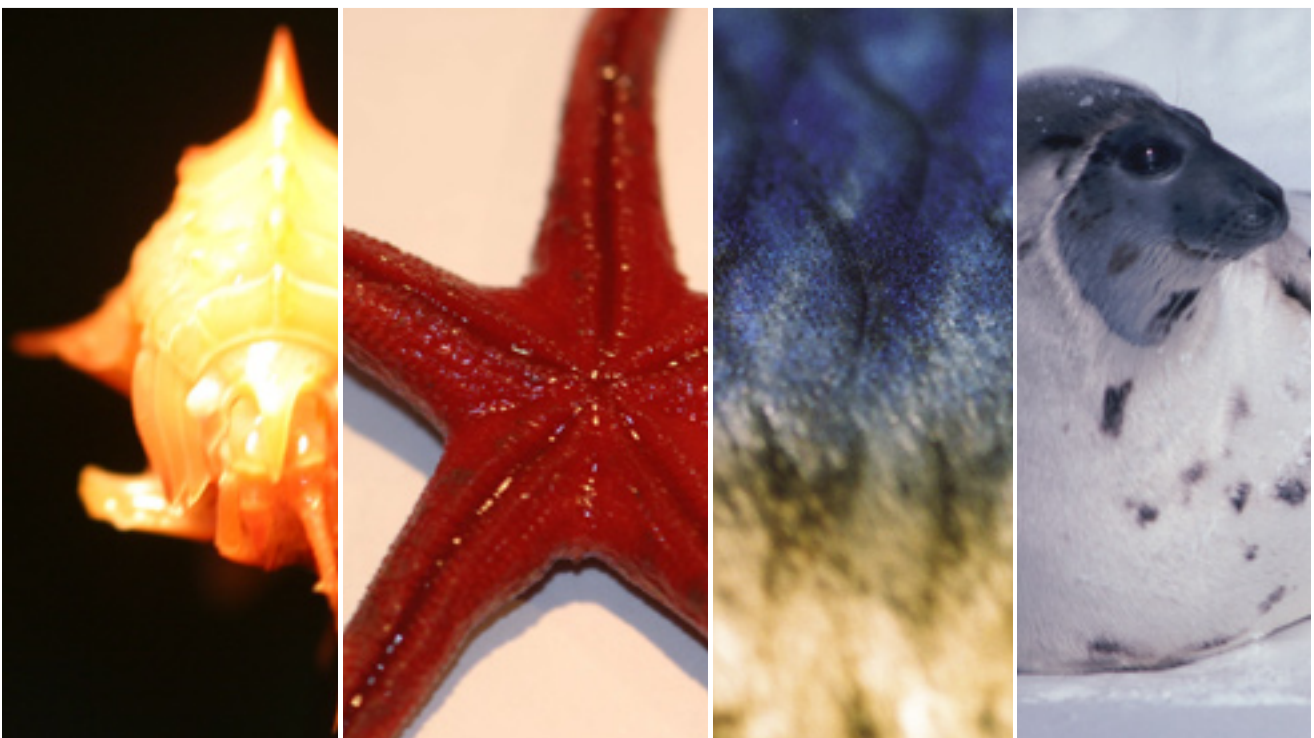
Produksjonen i våre andre marine økosystemer kan tenkes å være på samme nivå per arealenhet som i Norskehavet. For Nordsjøen/Skagerrak og Barentshavet må vi også ta med i beregningen at de er relativt grunne, slik at dødt organisk materiale som synker til bunns lettere kan

resirkuleres, f.eks. ved at fisk spiser bunn dyr. Disse igjen lever av å filtrere både dødt materiale og levende dyr ut av vannet eller av å spise bunnsedimenter og fordøye det organiske materialet. Vi ser derfor ofte at grunne marine havområder er svært produktive.

Summary

The Biodiversity Convention (1992) defines "ecosystem" as "a dynamic complex of plant, animal and micro-organism communities and their non-living environment interacting as a functional unit". All natural ecosystems are "open", meaning that they are connected to a smaller or larger extent.

The physical environment is an important part of the ecosystems. Bottom depth and bottom type, temperature, salinity and currents determine which organisms can live in the ecosystem and where they can live. As on land, production in the sea is based on photosynthesis, mostly carried out by microscopic one-celled plants (phytoplankton). The plants make up trophic level 1. On trophic level 2 we find the plant eaters, on trophic level 3 the predators on the plant eaters, on trophic level 4 the predators on those again, and so on. This can be illustrated with a food pyramid (Figure 1.1.1). Most animals have diets spanning several trophic levels, and we therefore often prefer to talk about food webs (Figure 1.1.2). Key species are those which are



important predators on many organisms and/or prey for many organisms. Examples are *Calanus finmarchicus*, capelin and herring.

In the seas around Norway we have defined three large ecosystems: the Barents Sea, the Norwegian Sea and the North Sea, on the basis of bottom topography, hydrography and production (Figure 1.1.3). The coastal areas can in many respects be seen as parts of the three large ecosystems, but in other respects as many smaller ecosystems. In each of the areas there are large fish stocks which mainly have their life cycle within the area, but also marine mammals and birds which are parts of the food chains.

The production on trophic level 1 (“primary production”) in the sea depends strongly on the temperature and availability of light and nutrients. Primary production is difficult to measure, but in the Norwegian sea it has been estimated at 2.2 billion tonnes, referred to 1.1 million km². Primary production is the basis for all production on trophic level 2 and higher, and production on the higher levels depends on the “ecological efficiency” between different levels. Theoretically possible production at each trophic level is shown in the text table. Production in the other marine ecosystems may be at the same level per area unit as in the Norwegian Sea.



Ord og uttrykk i denne artikkelen:

Bunntopografi er en vanlig brukt betegnelse på terrenget på bunnen, med store og små fjell og sletter, bratte og slake skråninger, osv.

Fronter blir brukt som betegnelse på grenseområder mellom vannmasser med forskjellig opprinnelse og litt forskjellige egenskaper, f.eks. “arktisk vann” (lav saltholdighet, lav temperatur), “atlantisk vann” (høy saltholdighet, høy temperatur), eller “kystvann” (høy temperatur, lav saltholdighet).

Hydrografi er vitenskapen om måling og beskrivelse av vannets egenskaper (f.eks. temperatur, saltholdighet, egenvekt og strømforhold).

Kopepoder er små krepsdyr som lever i sjø og ferskvann og utgjør en viktig del av dyreplanktonet. Raudåte er et typisk eksempel på en kopepode.

Makroplankton er de større planktonorganismene (typisk 2–20 cm).

Mesopelagiske arter er arter som lever i dybdeintervallet 200–1000 m. Livet i denne sonen preges av at der er litt lys, men ikke mye – og for lite til at planter kan produsere nytt organisk materiale.

Mikronekton er små nektonorganismer (typisk 2–10 cm).

Nekton er dyr som lever i vannsøylen mellom bunn og overflate i sjø og ferskvann og som i motsetning til plankton har god svømmeevne.

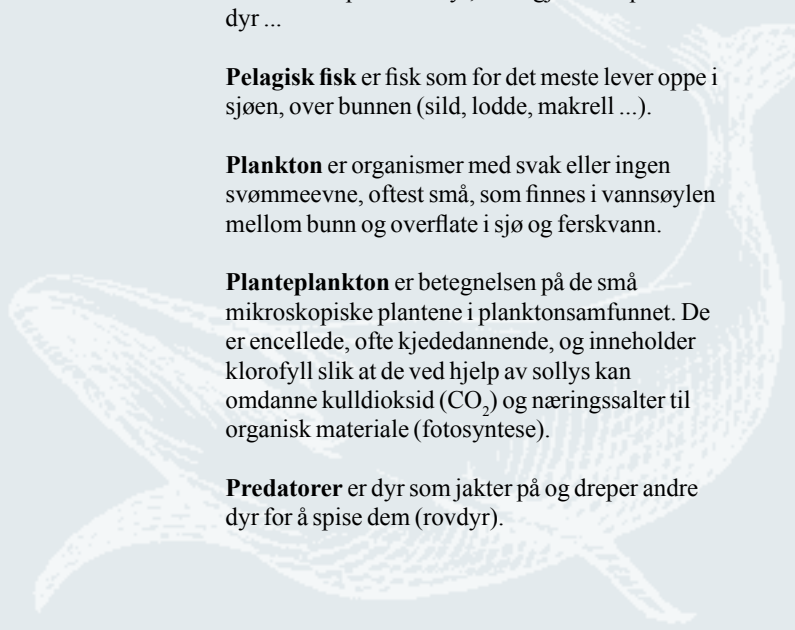
Næringskjede er rekkefølgen som oppstår når en plante blir spist av et dyr, som så blir spist av et dyr, som så blir spist av et dyr, som igjen blir spist av et dyr ...

Pelagisk fisk er fisk som for det meste lever oppe i sjøen, over bunnen (sild, lodde, makrell ...).

Plankton er organismer med svak eller ingen svømmeevne, oftest små, som finnes i vannsøylen mellom bunn og overflate i sjø og ferskvann.

Planteplankton er betegnelsen på de små mikroskopiske plantene i planktonsamfunnet. De er encellede, ofte kjededannende, og inneholder klorofyll slik at de ved hjelp av sollys kan omdanne kulldioksid (CO₂) og næringssalter til organisk materiale (fotosyntese).

Predatorer er dyr som jakter på og dreper andre dyr for å spise dem (rovdyr).





Økosystembasert forvaltningsrådgivning

Et rent og rikt hav skal sikres ved rammebetingelser som gjør det mulig å balansere næringsinteresser knyttet til fiskeri, havbruk og petroleumsvirksomhet innenfor rammen av en bærekraftig utvikling. I en helhetlig havmiljøpolitikk skal summen av alle påvirkninger vurderes i sammenheng og baseres på kunnskap om økosystemers struktur, virkemåte og tilstand, står det i Stortingsmelding nr. 12-2001 "Et rent og rikt hav". Denne nye måten å tenke på begynner å få innpass i dagligtalen som økosystemtilnærming til forvaltning av kyst- og havmiljøet, eller bare økosystembasert forvaltning. Begrepet "økosystemtilnærming" er utviklet og innarbeidet i flere internasjonale avtaler de siste årene. Prinsippet står sentralt i oppfølgingen av konvensjonen om biologisk mangfold og er nedfelt i handlingsplanen fra toppmøtet i Johannesburg i 2002.



Foto: Per Eide

Ole Jørgen Lønne

olel@imr.no

Nordsjøkonferansene og Oslo-Paris-konvensjonen har utviklet begrepet økosystemtilnærming videre. I 1997 ble fiskeri- og miljøvernministrene rundt Nordsjøen enige om å utvikle begrepet som en del av strategien for å integrere miljø- og fiskerispørsmål. Og på den 5. Nordsjøkonferansen i Bergen i 2002 var etablering av en økosystemtilnærming til forvaltningen av Nordsjøen selve hovedtemaet. På dette møtet ble det vedtatt et rammeverk for implementering av økosystemtilnærmingen som klargjorde de ulike elementene i en slik tilnærming og hvordan disse virket inn på hverandre. Utviklingen av miljømål, bruk av vitenskapelig rådgivning, overvåkning og brukermedvirkning var spesielt fremhevet.

Vårt forhold til havet har lenge vært at det er så stort, tilnærmet uendelig, og at menneskeskapt påvirkning som fangst, transport, utslipp og annen virksomhet ikke har noen vedvarende effekt på systemet som helhet. Våre første påminnelser om at det ikke er tilfelle var kanskje Tor Heyerdahls Kon-Tiki-ekspedisjon i Stillehavet i 1947. De rapporterte om funn av oljeklumper langt til havs. Fra nyere tid kjenner vi mange tilfeller der vi gjennom fiske og fangst har påvirket økosystemers sammensetning. Et av de tidligere og best kjente tilfellene er den pelagiske hvalfangsten i Sørishavet, der bestanden av blåhval og flere andre av de store bardehvalene ble redusert til et nivå nær utryddelse. Det førte til en endring av Sørishavets økologiske struktur som ser ut til å vedvare i dag, rundt 40 år etter at fangsten ble avsluttet.

Det høye nivået av miljøgifter i dyr høyt i næringskjeden i Arktis, f.eks. hos isbjørn, er allmenn kunnskap. Det samme gjelder erkjennelsen av at menneskeskapt aktivitet trolig påvirker klimaet. Effekten av det ser vi som endrede produksjonsforhold i havet, endring i enkeltarters leveområde osv. Vi kan ikke lenger bruke og utnytte havområdene som om de var uendelige og upåvirkelige. Norske myndigheter har derfor også klart uttrykt sin visjon om å sikre et rent og rikt hav, slik at også fremtidige generasjoner skal kunne høste av de rikdommer som havet gir. "Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand" (St. meld. nr. 25 (2002-2003)) forplikter oss til å gjennomføre en slik økosystemtilnærming innen 2010.

Utfordringer i et nytt forvaltningsregime

Myndighetene peker på at en helhetlig havmiljøpolitikk skal baseres på kunnskap om økosystemers struktur, virkemåte og tilstand. Det setter nye krav og gir nye utfordringer til Havforskningsinstituttet som en hovedbidragsyter av vitenskapelig baserte råd til fiskeriforvaltningen. En slik helhetstenkning gjør at vårt institutt også må inkorporere informasjon som tidligere har vært etterspurt av miljøforvaltningen. Hva slags råd trenger forvaltningen når våre hav- og kystområder skal forvaltes basert på en økosystemtilnærming? Og hva blir instituttets og forskernes rolle når en slik ny type informasjon skal utformes? Det blir sentrale temaer for Havforskningsinstituttet de nærmeste årene.

For å få et klarere bilde av hva som er de nye utfordringene og hva som allerede er kjent kunnskap, trengs et lite tilbakeblikk.

Begrepet “økosystem” ble introdusert i 1935 av den britiske økologen Arthur Tansley og er en forkortelse for økologisk system. Økosystemet forstås som enhet som beskriver samspill og funksjon mellom levende organismer og det miljøet de lever i, avgrenset i tid og rom. Et økosystem er derfor en konkret del av naturen, der skillet mellom økosystemer er bestemt av oss som betraktere. Havstrømmer, vind og egenbevegelse fører organismer inn og ut av et økosystem. Organismene påvirker hverandre direkte og indirekte i løpet av sitt opphold i økosystemet. Mange av artene forekommer bare i deler av økosystemet, eller har en utbredelse som strekker seg utenfor økosystemets grenser. Artenes plassering i næringskjeden kan også endre seg fra en del av økosystemet til en annen, eller over tid. Havforskningsinstituttet har tatt konsekvensen av denne betraktningmåten og omorganisert strukturen, slik at rådgivningen nå er knyttet til de fire definerte økosystemene Barentshavet, Norskehavet, Nordsjøen (inkludert Skagerrak) og Kystsonen. Det temabaserte rådgivningsprogrammet “Havbruk og havbeite” griper også tett inn i flere av disse programmene, men kanskje spesielt i økosystemene som er knyttet til kysten.

Det finnes mange moderne definisjoner av hva et økosystem er. Biomangfoldkonvensjonen definerer økosystem som “et dynamisk kompleks av planter, dyr og mikroorganismer som i samspill med det ikke-levende miljø utgjør en funksjonell enhet”. Denne definisjonen fokuserer på systemets struktur som “håndgripelige” enheter fordelt i et definerbart rom. Hval, torsk og fiskebåten i Figur 1.1.2 er eksempler på slike enheter. Andre definisjoner fokuserer på det funksjonelle system av interaksjoner som eksisterer mellom disse enhetene. Strømmen av energi (og stoff), representert ved pilene i den samme figuren, er eksempler på det. I den ideelle definisjonen er disse to måtene å se økosystemer på kombinert. En slik samlet kunnskap om et økosystem er det myndighetene etterspør når det er snakk om økosystemers struktur og virkemåte. Økosystemets tilstand er et øyeblikksbilde der disse elementene inngår og har verdier knyttet til seg.

Økosystemer er komplekse enheter

Antall arter i et økosystem varierer ofte mellom 1.000 og 100.000. Individuer av samme art har mange felles egenskaper, men også mange som er unike. For eksempel har alle sin unike genetiske kode. Det betyr at et økosystem kan bestå av 10^{15} til 10^{20} komponenter med ulike egenskaper. Det gir oss en indikasjon på at figuren er et meget forenklet bilde av virkeligheten. Utfordringen er derfor å ha den riktige

kunnskapen om utvalgte deler av systemet på ulike nivåer.

Vår bruk av kart i geografi har klare paralleller til måten vi kan tilnærme oss kompleksiteten i økologiske systemer på. De fleste har et forhold til bruken av kart med ulik oppløsning og tematisk innhold. Vi bruker oversiktskart over kontinenter, veikart, bykart, geologiske kart og topografiske kart. Vi tar det som en selvfølge at vi ekstraherer ulik type informasjon til ulike formål, og at den informasjonen som vises på slike kart har ulik “holdbarhet”. Et kart kan derfor aldri gi oss det komplette bildet. Vi kan øke oppløsningen for å få med flere detaljer, men er samtidig klar over at vi da mister informasjon som f.eks. er knyttet til overordnede terrengformasjoner. På samme måte er det ikke mulig å tenke seg en økologisk modell som inneholder alle komponenter samtidig. Om vi kunne lage en slik modell ville den straks være ugyldig, fordi dynamikken i systemet har endret bildet. (Egentlig er en slik modell virkeligheten selv). Vi må altså hente inn informasjon fra flere nivåer samtidig og fokusere på de elementene som vi mener er viktigst for å svare på de spørsmålene vi har stilt.

I praktisk ressursforvaltning er det for eksempel helt avgjørende å ha inngående kjennskap til mange egenskaper ved enkeltbestander, som for eksempel størrelsen på bestanden av torsk i Barentshavet, gjennomsnittlig alder hos førstegangsfødende grønlandssel eller informasjon om gyteforholdene i Lofoten ved et gitt tidspunkt. Det kan være et krav at det kan dokumenteres hvor rent havet er, og om det finnes miljøgifter i de organismene som vi ønsker å høste. For å følge utviklingen i torskbestanden eller den gjensidige påvirkningen mellom predator og byttedyr, som torsk og lodde, kan simuleringmodeller gi oss den ønskede innsikt. For innsikt i økosystemets tilstand, eller dynamikken på et overordnet nivå, vil andre typer modeller og tidskalaer være aktuelle. Nyere systemøkologisk forskning peker for eksempel på at økosystemer som helhet har egenskaper som vi ikke kan belyse ved hjelp av forenklete modeller. For eksempel kan endrede egenskaper ved systemets funksjon eller struktur som en følge av overfiske eller miljøpåvirkninger være elementer som vi ønsker å kvantifisere.

Kvantitative økosystem-indikatorer i fiskeriforvaltningen

En helhetlig forvaltning av våre marine økosystemer krever at vi rår over en hel “verktøykasse” av metoder og modeller som gir innsikt fra ulike sider og på forskjellige nivåer i økosystemet. Selv

med en velfylt verktøykasse tilpasset våre havområder, står vi overfor den utfordringen at vi ikke kan overvåke alle elementer til enhver tid. Vi må velge ut de elementene som kan gi oss den beste informasjonen og de raskeste indikasjonene på at noe er i ferd med å endre seg. Nordsjøkonferansen i 2002 bestemte at dette skulle gjøres ved hjelp av økologiske indikatorer eller miljøkvalitetsmål.

Miljøkvaliteten i et økosystem er et uttrykk for systemets tilstand som omfatter både biologiske, fysiske og kjemiske forhold, inkludert resultatet av menneskeskapt påvirkning. Miljøkvalitetsmål for et økosystem angir den ønskede tilstanden i systemet i forhold til et referansenivå. Referansenivået angir miljøkvaliteten i et tilsvarende, mest mulig upåvirket økosystem. Utviklingen av slike sett med miljøkvalitetsmål er nå i gang for flere havområder. Hos oss er dette et prioritert område. I disse dager arbeides det med en helhetlig forvaltningsplan for Barentshavet der et sett med tilhørende kvalitetsmål er et viktig redskap.

I korte trekk kan en si at et kvalitetsmål velges ut ifra kriterier om at det skal være enkelt å måle. Endringer i kvalitetsmålet indikerer endringer i systemet som enten direkte vil medføre tiltak eller utløse en grundigere undersøkelse av årsaken til endringene. Rent praktisk er det ønskelig at kvalitetsmålene bygger på allerede etablerte måleserier, fordi et lengre erfaringsgrunnlag er nødvendig for å skille naturlige variasjoner fra reelle endringer forårsaket av menneskeskapt påvirkning. Det er også et mål å velge ut kvalitetsmål som er enkle å måle, men som av natur gir indikasjoner på mer komplekse endringer. Det er videre en utfordring å velge kvalitetsmål som gjør at endringer kan oppdages raskt. En indikator som krever en tidsserie på ti år for å gi et sikkert svar er i denne sammenhengen av liten verdi. Et felles kriterium for kvalitetsmål er at de i størst mulig grad er kvantitative. Det vil si at de har en verdi eller et område knyttet til seg.

Eksempler på slike kvalitetsmål kan for eksempel være gjennomsnittsstørrelsen av torsk som kommer til Lofoten for å gyte. Endringer i et slikt mål kan indikere at det er endringer i bestandsstrukturen i torskbestanden. Et annet kvalitetsmål kan være nivået av en bestemt miljøgift i spekket hos grønlandssel. Dersom det observeres endringer her, kan det bety at det samme gjelder for andre miljøgifter som vi vet følger samme mønster som det stoffet som overvåkes, eller det kan bety at selen har endret sine matvaner og nå ernærer seg av andre organismer. En endring som dette utløser en grundigere undersøkelse

for å finne svar på denne type spørsmål. Et tredje eksempel på et kvalitetsmål kan være diversiteten i bunndyrssamfunn. Med diversitet menes et mål på hvor mange arter som finnes i et område, kombinert med hvor mange individer det er av hver art. Hvis dette forholdet, diversiteten, endrer seg utover det som er normal variasjon, indikerer dette en endring i systemets struktur. En nærmere undersøkelse om hva som er årsaken til en slik endring i strukturen kan da være påkrevd. På denne måten kan et godt utvalg av kvalitetsmål gjøre overvåkingen av meget kompliserte systemer overkommelig innenfor de rammer som til enhver tid er tilgjengelige.

Utfordringer

Fram til i dag har hovedfokus i forvaltningen vært på enkeltarter, basert på veldokumentert populasjonsdynamisk teori. En utvikling av indikatorer på dette området er derfor kommet lengst. Det finnes også et visst teoretisk fundament for den biologiske organiseringen på samfunnsnivå, mens det er mer sparsomt på økosystemnivå. En utvikling på dette området er helt nødvendig dersom økosystembetraktninger skal spille en rolle i en fremtidig forvaltning av våre marine ressurser. En ekspertgruppe, nedsatt av SCOR (Scientific Committee of Oceanic Research), har formulert seg slik: *“Given the practical and theoretical difficulties involved in such management, the conventional procedures focusing on single species have been a sensible initial approach. However, it is becoming ever more clear that these conventional procedures are not working consistently, and more attention to broader ecosystem aspects is required”*.

En stor utfordring ligger i kravet om forvaltning basert på “økosystemets struktur og funksjon”. I dette ligger det innbakt at beskatning av enkeltbestander eller endringer i miljøet som følge av menneskeskapt påvirkning kan gi seg uttrykk i forandringer på økosystemnivå. En ny side ved økosystemtilnærmingen til det marine miljøet innebærer altså at det systemteoretiske fundamentet må tas i bruk og utvikles. Denne måten å betrakte økosystemer på er et eget forskningsfelt som ofte kalles systemøkologi. Det er en vitenskapelig gren som fokuserer på økosystemers struktur og de prosesser som er med på å opprettholde eller forandre denne strukturen. Strømmen av energi og stoff gjennom systemet og mellom systemer er viktige parametre i dette fagfeltet. Dagens forvaltningsråd på dette nivået er i beste fall beskrivende. Det finnes i noen grad parametre eller forslag til miljøkvalitetsmål innen denne kategorien, men

de er ikke utprøvd eller tatt i bruk i forvaltningssammenheng.

En annen stor utfordring ved utviklingen av økosystembaserte råd er at rådene i sin natur handler om hvordan menneskelige inngrep i form av fiske og fangst, utslipp eller annen aktivitet påvirker de økologiske interaksjonene. Økosystembasert forvaltning handler derfor i stor grad om å kunne dokumentere virkningene av de valg som gjøres. Havforskningsinstituttets rolle er derfor på mange måter å fortelle om konsekvensene av slike valg. Hvilke valg som tas er en politisk avgjørelse som opinionen kan forsøke å påvirke.

FAO har utarbeidet retningslinjer og mål for et sett av slike valg i en økosystembasert fiskeriforvaltning. Aktuelle mål for en slik forvaltning er å forbedre økosystemets helse, gjenoppbygge nedfiskede bestander, opprettholde reproduksjonspotensialet til målartene, opprettholde biologisk mangfold, beskytte viktige habitater, redusere uønskede bifangster, redusere spøkelsesfiske, redusere usikkerhet og risiko, forbedre de institusjonelle rammer, styrke juridisk grunnlaget, for bedre beslutningsrammene, forbedre statistikk og datainnsamling, forbedre forskningskapasiteten og utarbeide forvaltningsplaner. Andre interesser kan ha andre mål og retningslinjer for bruken av det marine miljø.

I en sammenheng der beslutninger tas med bakgrunn i kunnskap om økosystemer, er det viktig å erkjenne at miljøet er i stadig endring, og at økosystemets struktur og funksjon endres i takt med dette. Slike endringer skjer hele tiden, selv uten menneskeskapt påvirkning. Økosystemer utsettes i tillegg for menneskeskapt påvirkning som fortoner seg som gradvise endringer i klima, næringstilførsel, oppstyking av habitater og uttak av biologisk materiale. Vi forventer vanligvis at slike gradvise endringer skal gi seg utslag i gradvise endringer i økosystemets struktur. Nyere erfaringsbasert kunnskap viser at det ikke alltid er tilfelle. Gradvise endringer i strukturen kan i noen tilfeller avløses av brå og vedvarende overgang til nye, ukjente og alternative strukturer. Et eksempel fra det marine miljøet kan være overgangen fra et fiskedominert system (særlig torsk) til et krepsdyrdominert system i områdene rundt Georges Bank i det østlige Atlanterhavet. Fra egne områder kjenner vi den kontrastfylte overgangen fra artsrike hardbunnsområder dominert av tare til de nakne artsfattige områdene dominert av kråkebolle. De samme undersøkelsene indikerer at slike brå endringer kan komme som en

følge av at økosystemet har mistet sin elastisitet. Dette indikerer at et viktig element i fremtidig bærekraftig fiskeriforvaltning bør inkludere et kvalitetsmål som kan gi signaler om når et økosystem nærmer seg sine elastisitetsgrenser.