

# Kan vi gjøre fjordene våre mer produktive?

Jan Aure, Lars Asplin og Øivind Strand

**En rik produksjon av planteplankton i våre kyst og fjordområder er avhengig av til-strekkelig lys, næringssalter og karbondioksyd. Hver vinter bygger det seg opp høye verdier av næringssalter, og i mars måned starter vårbloomstringen i kyst og fjordområdene. Denne har en varighet på ca tre uker. Den hektiske produksjonen under vårbloomstringen bidrar med hele 50-60 % av årsproduksjonen av planteplankton i kyst- og fjordområdene.**

Resten av året, fram til september - oktober er det lave næringssaltkonsentrasjoner i øvre lag og produksjonen pr tidsenhet er vesentlig mindre enn under vårbloomstringen. I fjordene er produksjonen av nytt plankton i perioden fra april til oktober for en stor del avhengig av begrensede tilførsler av næringssalter fra elver og fra dypvannet gjennom vertikal blanding. Siden produksjon av planteplankton alltid forutsetter tilgang på lys, er produksjonen i kyst- og fjordområdene begrenset til de øverste 30 meter av vannsøylen (produksjonssonen).

## Oppstrømning

I såkalte oppstrømningsområder skjer det en kontinuerlig tilførsel av næringsrikt dypvann til overflatelaget. Verdens best kjente oppstrømningsområde finner vi utenfor kysten av Peru. I områder med sterk oppstrømning skjer det en meget høy primærproduksjon pr flateenhet og produksjonen av plankton i oppstrømningsområdene er tre-fire ganger større enn i typiske kystområder. Fiskeproduksjonen her er også betydelig større enn i typiske kystområder og en tror at årsaken til dette er etablering av korte, effektive næringskjeder knyttet til den kontinuerlige tilførselen av næringsrikt dypvann.

Det har vært gjort flere forsøk på å skape kunstig oppstrømning i hav- og kystområder rundt om i verden. Et pågående forsøk i Japan går for eksempel ut på å undersøke muligheten for å skape kunstig oppstrømning ved å bygge betong-konstruksjoner på havbunnen.

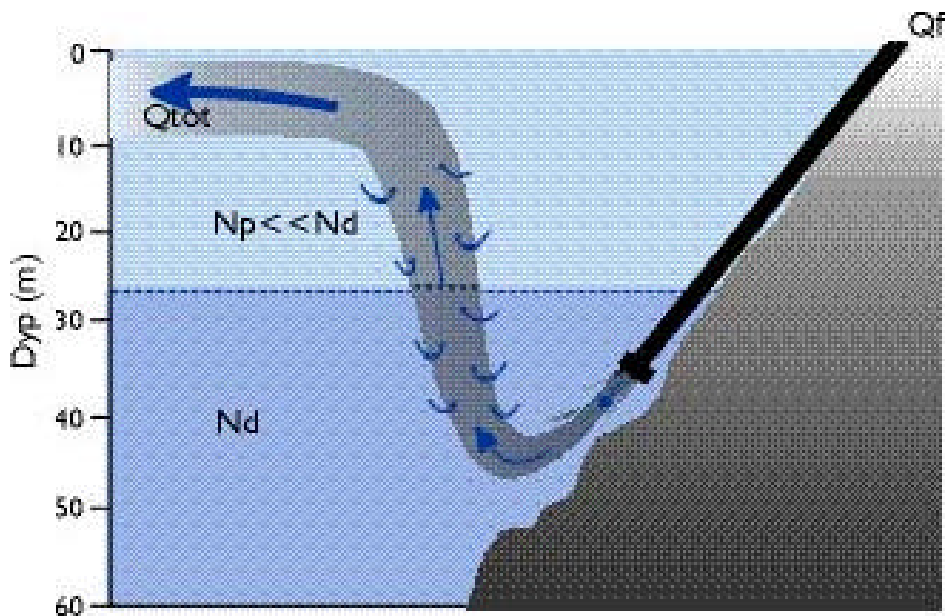
I Norge har det ikke vært gjort storskalaforsøk med kunstig oppstrømning for å øke primærproduksjonen. I en del poller har man imidlertid benyttet direkte gjødsling for å øke produksjonen, og styre algesammensetningen for produksjon av fiskeyngel og øke tilveksten av østers. Norske fjorder bør imidlertid egne seg godt for å utprøve kunstig oppstrømning grunnet av deres begrensede størrelse, rikelig tilgang på næringssalter under ca 30 meter dyp og god tilgang på ferskvann som kan brukes til å transportere næringssalter opp i produksjonssonen. Den mest effektive utnyttelse av økt produksjon ved kunstig oppstrømning i norske fjorder vil trolig kunne skje gjennom økt dyrking av skjell.

## Hvordan kan næringsrikt vann bringes opp i produksjonssonen?

For å transportere næringsrikt dypvann opp mot overflatelaget kreves energi. Metodikken kan baseres på dykkete ferskvannsutslipp (det vil si ferskvann som føres

kunstig ned til et egnet dyp før det slippes i sjøen), på utslipp av luft og på store strømsettere. Den mest aktuelle metoden er å bruke dykkete ferskvannsutslipp hvor ferskvann blander seg med næringsrikt dypvann opp mot overflatelaget (fig. 5.14). Et dykket ferskvannsutslipp må konstrueres slik at vi får maksimal transport av dypvann opp til produksjonslaget.

Foreløpige beregninger utført innenfor prosjektet FJORDCULT viser at et ferskvannsutslipp på ca  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  med fallhøyde på ca 20 meter som blir dykket ned til ca 40 meters dyp, kan transportere omlag  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  næringsrikt dypvann opp til 5 - 10 meters dyp. Med andre ord vil  $1 \text{ m}^3$  neddykket ferskvann kunne bringe opp ca  $15 \text{ m}^3$  med nær-ingsrikt fjordvann.



**Figur 5.14** Prinsippskisse av dykket utslipp av ferskvann for transport av næringsrikt dypvann til øvre lag.  $Q_{tot}$  er totalt tilført vann til øvre lag og  $Q_f$  er ferskvannstilførsel.  $N_d$  og  $N_p$  er nærings盐konsentrasjoner.

*Principle for subsurface release of fresh water into a fiord in order to generate continuous upwelling of nutritious deep water masses.  $Q_f$  denotes volume flow of input fresh water.  $Q_{tot}$  denotes the resulting total water volume brought to the upper layer when  $Q_f$  mixes with the surrounding water and rises to the surface.*

Konsentrasjonen av næringsalter i oppstrømningsvannet som innlagres i øvre lag vil være omlag 70 % av konsentrasjonen i dypvannet.

Når et dykket ferskvannsutslipp stiger opp mot overflatelaget, fra for eksempel 40 meters dyp, vil det gjennom innblanding av sjøvann også tilføres organiske partikler som finnes i sjøvannet. Dermed vil sjiktet mellom 5-10 meters dyp, i tillegg til nye næringsalter, også kunne tilføres betydelige mengder organisk materiale. Større ferskvannsutslipp fra vannkraftverk ( $20\text{-}50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) vil kunne dykkes til dyp større enn 30 meter uten stort falltap og derved kunne transportere betydelige mengder næringsrikt dypvann til overflatelaget.

I Norge har vi to slike "større" dykkete ferskvannsutslipp fra vannkraftverk. Det ene ligger i Aurlandsfjorden, og det andre finner vi i Gaupne-fjorden i Sogn og Fjordane fylke. De nevnte utslippene rekker imidlertid bare ned til 25-30 meters dyp, og stikker derfor ikke dypt nok ned til å gi vesentlige effekter på primærproduksjonen.

## **Modellering av planteplankton i fjorder med og uten kunstig oppstrømning**

Ved hjelp av en endimensjonal primærproduksjonsmodell har vi beregnet den relative økning i produksjonen i et fjordområde når øvre lag tilføres næringsrikt dypvann. Den biologiske primærproduksjonsmodellen er en forenklet utgave av primærproduksjonsmodulen i havmodellen NORWECOM. Hovedkomponentene i modellen er lys, nitrat, fosfat og silikat, samt produksjon og biomasse av kiselalger (dia-tomeer) og flagellater.

Modellen simulerer en vannkolonne fra overflaten til 30 meters dyp og er inndelt i bokser med vertikal utstrekning på 0.5 meter. Dette er en forenklet modell, først og fremst fordi hori-sontale transporter og vertikalblanding er for dårlig representert. Modellen som benyttes er enkel og lett å bruke og egner seg godt til å avdekke relative forskjeller i produksjons-forholdene når det skjer store forandringer i mengden tilførte næringssalter.

Lysnivåene som er benyttet i modellen tilsvarer gode sommerforhold og det er også tatt hensyn til vertikal lyssvekning på grunn av selvskygging fra algene. Startverdiene av næringssalter er delvis bestemt på grunnlag av observerte verdier i Samnangerfjorden ved Bergen i april 1999. Resultatene viste seg å være følsomme for valget av disse startverdiene (og slik er det kanskje i naturen også?). Tilførselen av næringsrikt dypvann til produksjons-sonen baserer seg på resultatene fra FJORDCULT (se over). Vi antar at det tilføres en volumfluks på 50 og 100 m<sup>3</sup>/s blandingsvann (ferskvann og sjøvann) til sjiktet mellom 9 og 11.5 metes dyp (det vil si 5 vertikale bokser). Næringssaltene i det tilførte blandingsvannet tilsvarte ca 70 % av konsentrasjonen i vannmassene på 40 meters dyp. Vi antok også at de tilførte næringssaltene ble likt fordelt over en fjordoverflate på 30 km<sup>2</sup>.

Når modellen ble kjørt uten kunstig oppstrømning av vann, skjedde den største produksjonen i et vertikalt sjikt (5-15 meter) hvor det fortsatt var tilgjengelig silikat for diatomeproduksjon. En svak flagellatproduksjon fant også sted på ca 2 meters dyp, det vil si i et dyp med minimum diatomeproduksjon.

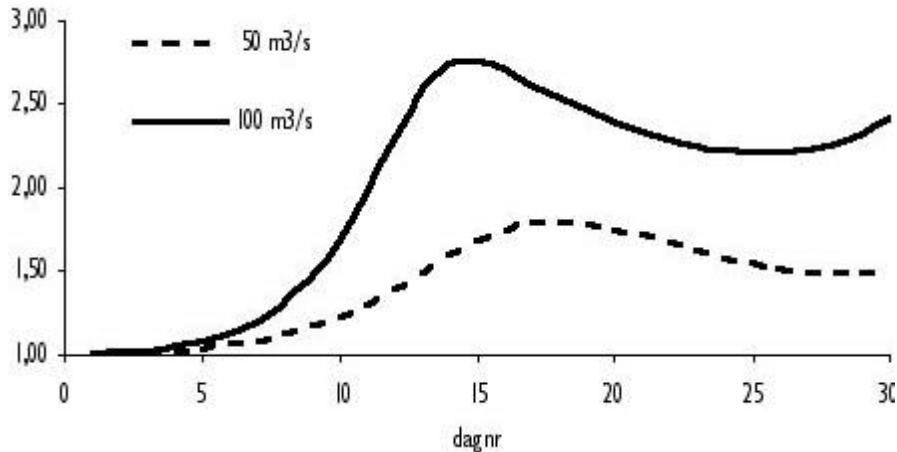
Produksjon og algesammensetning ved kunstig oppstrømning ble også simulert for en periode med 30 dagers solskinn som førte til en dominerende diatomeblomstring og en gryende flagellatblomstring. Ved å beregne total produksjon i gram karbon per flateenhet, fant vi at produksjonen økte med en faktor på to - tre når tilførselen av næringsrikt dypvann (blandingsvann) til produksjonslaget økte til ca 100 m<sup>3</sup>/s (figur 5.15).

I et naturlig fjordsystem vil konsentrasjonene og sammensetningen av næringssalter i dypvannet variere gjennom produksjonssesongen. Perioder med høyere næringssaltverdier skaper økt produksjon mens relativt høyere silikat- og fosfatverdier vil henholdsvis gi økt diatome- og flagellatproduksjon.

## Kan kunstig oppstrømning utnyttes til dyrking av skjell?

Våre fjorder er i utgangspunktet meget godt egnet for skjellproduksjon, i første rekke med tanke på dyrking av blåskjell. De gode vekstforhold for blåskjell i fjorder kan forklares med gode fødeforhold i og under sprangskiktet, og at blåskjellene er mer robuste for brakkvanns- påvirkning enn organismer som konkurrerer i mer marint miljø. Problemet er giftige alger. Forkomstene av giftige alger har til nå vært en avgjørende hindring for næringsutviklingen. Alger i for eksempel slekten *Dinophysis* sp er oppkonsentrert i sprangskiktet, mellom brakkvannslaget i overflaten og det saltete sjøvannet under, og skjell som spiser disse algene kan forårsake diare (Diaregivende alggift - DSP) hos mennesker ved konsum.

Skjell lever av mikroskopiske partikler som svever i vannet, og av disse partiklene utgjør planteplankton den viktigste maten. Skjellene fanger partiklene ved å pumpe vann forbi gjellene som ligger utspilt inne i dyret. På gjelleoverflaten (gitterstruktur) sitter det små bevegelige hår (cilier) som både sørger for å sette opp en vannstrøm gjennom dyret og over gjellene. Et voksent blåskjell kan pumpe i størrelsesorden 10 liter per time og fra dette vannet fjerner det alle partikler større enn bare noen få tusendels millimeter med nærmere 100 % effektivitet. Skjell har en derfor en enorm evne til både å fange fødepartikler i sjøen og til å omsette disse til høyverdig sjømat. Omlag 25 % av nitrogenet i fødepartiklene som skjellene filtrerer fra vannmassene går til produksjon av skjellmat, 25 % blir ikke tatt opp og returnert som partikulær avføring, mens 50 % er metabolske avfallsprodukter (ammonium) som straks blir til ny næring for omgivende planteplankton.



Relativ produksjon

0

**Figur 5.15** Relativ produksjon av planteplankton i forhold til naturlig produksjon i mai for tilførsler av 50 og 100 m<sup>3</sup>/s ( $Q_{tot}$ ) til øvre lag (se figur 5.14).

*Relative increase in phytoplankton production due to forced upwelling of nutritious deep water. Dotted line: Production increase for upwelling flow  $Q_{tot} = 50$  cubic m/s. Continuous line: Production increase for upwelling flow  $Q_{tot} = 100$  cubic m/s.*

Skjell er biologisk tilpasset til å kunne utnytte fødetilgang innenfor naturlige svingninger med hensyn til konsentrasjon av partikler og strømhastighet (transport av føde til skjellene). Blåskjell og østers som lever på grunt vann, ofte i innelukkete

områder, klarer å utnytte relativt store svingninger og høye fødekonsentrasjoner, mens kamskjell som lever dypere utnytter høye fødekonsentrasjoner dårlig (se Havbruksrapport 1999). Ved dyrking av blåskjell, er det viktig å plassere bærelinene slik at skjellene får optimal vekst i forhold til fødetilgangen.

Vi har mange gode eksempler på at skjell er særdeles effektive som regulerende organisme i kystnære og særlig innelukkete økosystemer. I naturlig bunnmiljø kan det sitte fra 10 til 50 kg skjell per kvadratmeter. Hver kvadratmeter med skjelldekket bunn filtrerer i størrelsesorden 100 m<sup>3</sup> vann per døgn. Dersom skjellene kan holdes i vannsøylen istedenfor på bunn, vil de vokse spesielt hurtig fordi hengende skjell mottar føde fra flere retninger. Blåskjell som dyrkes i vannsøylen på vertikale fester (tau, bånd, strømper etc.) vokser godt ved en biomasse- konsentrasjon på opp til 100-200 kg per m<sup>2</sup>. Forutsatt hensiktsmessig dimensjonering og plassering i forhold til dyp og i forhold til horisontal transportert næring, vil skjellanlegg ha store muligheter til å utnytte den økte planktonproduksjon som kunstig oppstrømning vil skape. Når skjellene fjerner fødepartikler fra vannet fortere enn vannstrømmen makter å tilføre nye oppstår fødebegrensning. Konsentrasjonen av fødepartikler vil spesielt ofte avta nedstrøms i et anlegg og det finnes mange eksempler på at skjellbestander i store systemer (bukter, sund, innelukkete brakkvannsområder etc) beiter ned mikroorganismene i vannsøylen. Skjellenes beit-potensial kan derfor variere over en vid skala.

Økt planteplanktonproduksjon som følge av kunstig oppstrømning vil føre til økt konsentrasjon av fødepartikler for skjell. Det kan imidlertid oppstå sterk konkurranse om denne nye maten, særlig fra dyreplankton. Skal økt planteplanktonproduksjon derfor resultere i en betydelig økt produksjon av skjell, forutsettes det at skjellene plasseres på en slik måte at de i størst mulig grad utnytter den økte produksjonen av planteplankton.

Modellberegningene viser i tillegg at kunstig oppstrømning vil skape en relativ forskyvning i planktonsamfunnet i retning mot økt diatomedominans. Dette er et viktig resultat. En reduksjon i forekomsten av *Dinophysis*-algene, parallelt med økt konsentrasjon av fødepartikler som ikke er giftige kan vise seg å være gull verd. Det betyr at kunstig oppstrømning i våre fjorder både kan mangedoble fjordens skjellproduksjonsevne og samtidig redusere forekomstene av giftproduserende flagellatalger.

## **Samnangerfjorden som feltlaboratorium**

I 1998 ble det igangsatt et prosjekt (FJORD-CULT), under forskningsprogrammet MARI-CULT, som har som hovedmål å analysere mulighetene og eventuelle hindringer for økt biologisk produksjon i fjorder ved kunstig oppstrømning av næringsrikt dypvann. Innledningsvis ble det utført teoretiske beregninger for hvor mye næringsrikt dypvann som under ulike grensebetingelser vil føres opp til produksjonslaget ved hjelp av ferskvann (kunstig oppstrømning). I 1999 kartla vi de naturgitte miljøforhold i Samnangerfjorden ved Bergen. Grunnen for at Samnangerfjorden ble valgt til forsøksfjord er dens hensiktsmessige størrelse (30 km<sup>2</sup>) og ikke minst tilgang på ferskvann (ca 3-6 m<sup>3</sup>/s) med fallhøyde på ca 20 meter fra en demning til fjorden.

Utslippssystemet som skal tilføre produksjonssonen næringsrikt dypvann (se figur 5.14) er ennå ikke på plass, og det arbeides for tiden med å finansiere denne delen av prosjektet.

Når utslippssystemet og den kunstige oppstrømning av dypvann i Samnangerfjorden først er etablert, har vi store muligheter i vente. Samnangerfjordprosjektet vil trolig for første gang kunne vise hvordan et naturlig økosystem i en større fjord i praksis responderer på en kontinuerlig og balansert næringsstofftilførsel til produksjonssonen. Gjennom prosjektet vil vi også kunne analysere de økte biologiske vekstmuligheter og samtidig bli i stand til å avklare det kommersielle potensial for dyrking av for eksempel blåskjell i høyproduktive fjorder.

Kilde: Aure, J. et al, Havets miljø 2000, Fiskerihav, Særnr. 2:2000.