

***Lophelia*-korallrev kan vise seg å inneholde svært detaljert informasjon om temperaturforholdene i Atlanterhavet i de siste 8500 år. Analyser av mengdeforholdet mellom to bestemte oksygenisotoper i *Lophelia pertusas* vekstsoner kan i prinsippet bestemme temperaturen den gangen skjelettet ble dannet, med en nøyaktighet på 0.5 °C. Problemet er at mengdeforholdet mellom de to isotopene ikke utelukkende bestemmes av havtemperaturen. Variasjoner i korallens veksthastighet spiller også inn. Mer forskning må til for å skille mellom effekten av vekstrate og temperatur.**

## **Temperaturindikatorer**

For å dokumentere klimaendringer er det viktig å kjenne klimaets forhistorie. Detaljerte temperaturdata basert på direkte temperaturmålinger finnes bare for de siste 100 år. For å finne ut hvordan temperaturen varierte i tidligere tider må det benyttes indirekte metoder. Det eksisterer en rekke indirekte metoder som kan angi forhistoriske temperaturer. På land har f.eks. årringsanalyser av trær vist seg å kunne beskrive temperaturen og dens variasjoner 11 000 år tilbake i tid.

I havet er man på leting etter bedre metoder som kan spore temperaturvariasjonene langt bakover i tid. Bruk av isotopforholdet i korallskjeletter er en ny interessant mulighet. En isotop er en spesialutgave av et grunnstoff. Alle atomkjerner i et gitt grunnstoff inneholder et bestemt antall positivt ladde protoner. Men i kjernen finnes også neutroner som har samme masse som protonene, men ingen elektrisk ladning. De fleste grunnstoffer kan forekomme i flere varianter med ulikt antall neutroner i kjernen. Variantene kalles isotoper. Neutronallet har vanligvis minimal virkning på grunnstoffets kjemiske egenskaper, men det finnes enkelte prosesser der neutronallet gir sporbare utslag. Dette kan utnyttes i klimaforskningen.

Gjennom undersøkelser av kiselalger, foraminiferer (encellede dyr), steinkoraller og muslinger, er det kommet frem at mengdeforholdet mellom to stabile oksygenisotoper i kalkskallet avhenger av temperaturen i vannet den gang skallet ble dannet. Spesielt er det gode muligheter til å studere klimavariasjoner ved

hjelp av havorganismer som danner årlige vekstbånd. Her er funnet signifikant samghørende variasjoner i temperatur, isotopsammensetning og vekstbånd i koraller og muslinger. Analyser av korallskjelett kan derved brukes til å rekonstruere temperaturvariasjoner og geologiske prosesser som skjedde i havet for mer enn 100 000 år siden.

I de norske havområder er data om tidligere klimavariasjoner en mangelvare. Ved å kombinere isotopdateringer med studier av vekstlinjer og stabile oksygenisotoper kan kanskje de nyoppdagede *Lophelia*-korallene (Figur 6.20) gi oss mulighet til å analysere detaljerte temperaturserier fra forhistorisk tid. Foruten å fortelle oss hvordan temperaturen varierte på korallenes voksested for tusener av år siden, kan korallene kanskje også gi oss informasjon om fortidens havstrømmer.

## **Vekst og revstruktur hos *Lophelia pertusa***

*Lophelia pertusa* finnes over store deler av verden, men det ser ut til at dens hovedutbredelse er i Nordøst-Atlanteren. I våre farvann lever *Lophelia* hovedsakelig på dyp mellom 100 og 400 m i vann med en temperatur mellom 4 og 9 °C og en saltholdighet over 32. Korallen danner rev som er opptil 32 m høye og flere hundre meter lange. På Sularyggen er det funnet et revkompleks som er ca. 15 km langt.

Skjelettveksten foregår ved knoppskyting fra korallbegerets kant. Etter hvert som korallene dør, danner de døde skjelettrestene underlag for nye individer. Over tid blir mengden døde koraller så stor at det dannes et korallrev med levende koraller øverst. Ekkolodd viser at revene består av et lag døde koraller som dekker naturlige forhøyninger på havbunnen. Dette laget synes å være opptil 15 m tykt i våre farvann. De eldste *Lophelia*-skjelettene i Norge er ca. 8600 år gamle og er funnet 2 m ned i bunnen ved foten av et rev på Sularyggen.

På overflaten av et slikt rev finner vi levende kolonier som kan bli opptil ca. 2 m høye og ca. 4 m brede. Polyppene lever bare i de ytterste 10-20 cm av koloniene. Resten består av nakent og dødt korallskjelett. *Lophelia*-revene vokser svært sakte. Den gjennomsnittlige lengdevæksten av korallgrenene



Figur 6.20 Skjelett og polypper av *Lophelia pertusa* fotografert i akvarium.  
Skeleton and polyps of *Lophelia pertusa* photographed in aquarium.

ser ut til å ligge på rundt 6 mm pr år. Med denne voksehastigheten vil en 2 m høy koloni være rundt 300 år gammel.

Boresvamper huler ut og svekker de døde korallgrenene. Derfor vil skjelettene etter hvert sige sammen og bli kraftig komprimert. Høyden på et rev er derfor mye lavere enn hva veksten av grenene skulle tilsi. Et rev som er 8000 år gammelt og 10 m tykt har gjennomsnittlig økt høyden med 1.3 mm per år. Når en korallkoloni blir stor og tung, kan den revne og ramle nedover langs revsiden. Derfor finner man ofte bruddstykker av levende kolonier helt ned til foten av revet. Slike biter dør etter en stund, men etter hvert som området bygges opp fra slike døde korallblokker dannes det underlag for nye, levende kolonier. Slik vokser også revene horisontalt.

Som følge av den naturlige oppbrekkingen av korallkolonier, er det vanskelig å finne gamle skjelettbitar som dekker en periode lengre enn ca. 30 år. Hver enkelt korallbit representerer derfor bare et lite "vindu" til fortidens havklima, der informasjon om fortidens sesongmessige temperaturvariasjoner ligger lagret innenfor årlige vekstbånd.

#### **Skjellettdannelse og isotopfraksjonering**

Korallskjelettet består av kalsiumkarbonat. Det

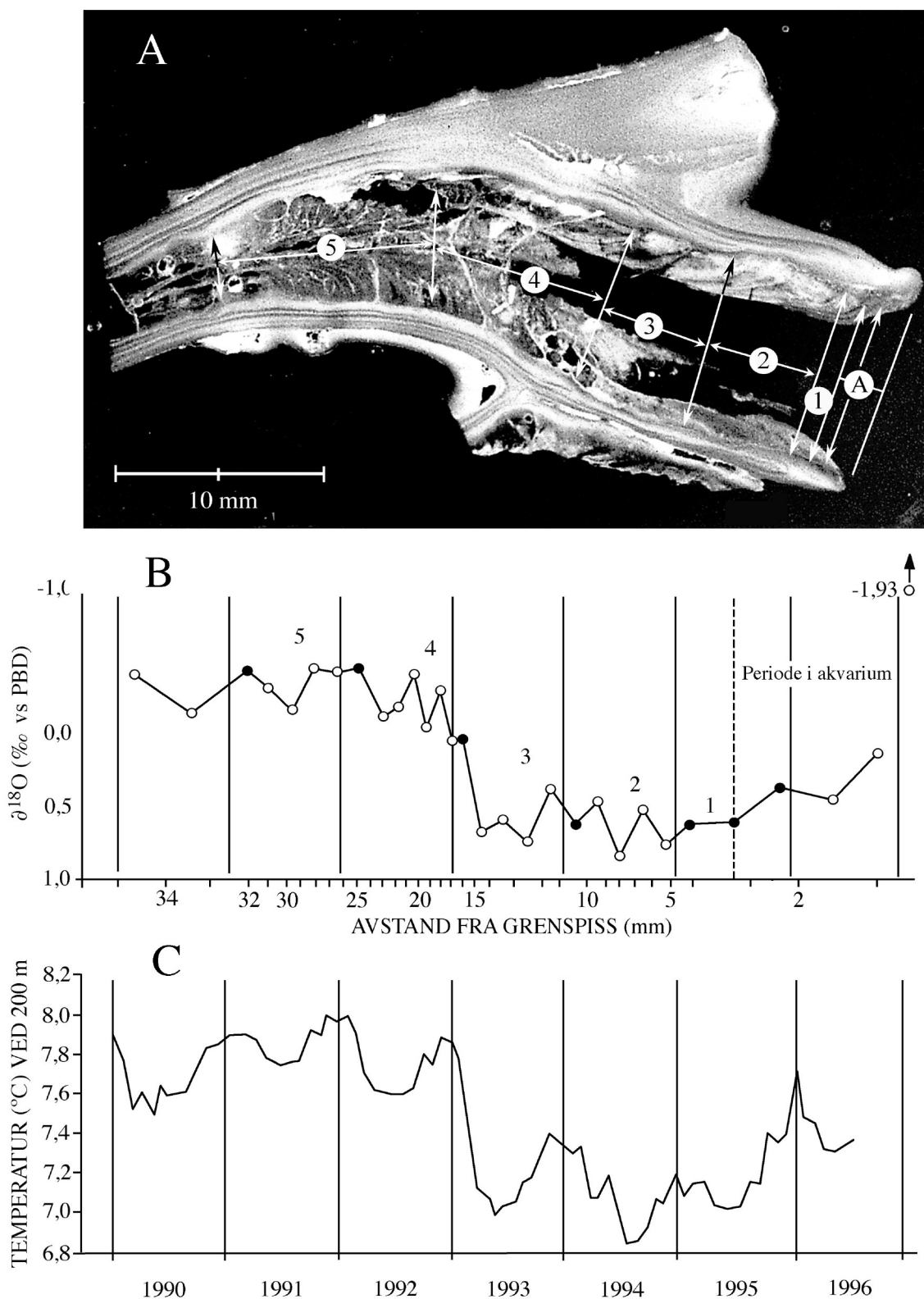
dannes av kalsium som finnes i vannet og karbondioksyd som finnes både i vannet og i maten den spiser. Oksygenet i karbondioksidet inneholder flere ulike isotoper. Når det dannes et skjelett tas ikke oksygenisotopene  $^{18}\text{O}$  og  $^{16}\text{O}$  opp i like store mengder. Mengdeforholdet i skjelettet avhenger både av temperaturen og reaksjonshastigheten (voksehastigheten).

Sammensetningen av oksygenisotoper i marine karbonater avgjøres av utvekslingshastigheten av  $^{18}\text{O}$  og  $^{16}\text{O}$  mellom vann og karbonat. Denne reaksjonen er temperaturavhengig. Økt temperatur gir økt andel av  $^{16}\text{O}$ .  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -forholdet betegnes som standard  $\delta$  notasjon ( $\delta^{18}\text{O}$ ), hvor positive verdier indikerer anrikning av den tyngre isotopen ( $^{16}\text{O}$ ).

#### **Beskrivelse av vekstbånd**

For å kunne avgjøre hvorvidt vekstbåndene i et gitt korallskjelett representerte årringer, ble forholdet mellom oksygenisotopene  $^{18}\text{O}$  og  $^{16}\text{O}$  sammenliknet med vekstbåndmønstre langs transekter gjennom skjelettet. Analysene ble gjort på koraller fra Rødberg i Trondheimsfjorden. Korallene ble holdt i akvarium i 18 måneder før analysene.

Soner, eller bånd, er synlige som parallelle linjer selv ved lav forstørrelsesgrad (Figur 6.21). I meget tynne snitt ble det funnet tydelige mønstre med tykke og tynne linjer i både tverrsnitt og lengdesnitt



Figur 6.21

A) Fotografi av en lengdesnittet *Lophelia pertusa*-korallgren fra Trondheimsfjorden. B) Sammensetningen av oksygenisotoper ( $\delta^{18}\text{O}$ ) på langs av skelettet. Prøver fra markerte vekstlinjer er angitt med fylte sirkler. C) Temperatur målt på 200 m dyp (data fra Trondhjem Marinbiologiske Stasjon).

A) Photography of a longitudinal section of a *Lophelia pertusa* corallite from Trondheimsfjorden. B) Composition of oxygen isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ) along a longitudinal section of the corallite. The samples of pronounced growth lines are indicated with a filled circle. C) Measured temperatures at 200 m depth.

av skjelettgrenene. Mellom de tykke linjene ble det observert 9-15 tynne linjer. Et sett med mange tynne linjer og en tykk kalles et vekstbånd. I lengdesnittene fremsto sonene som tunger mot enden av korallbegrene, adskilt med gjennomsnittlig 5.5 mm fra tungespiss til tungespiss. Hva som forårsaker de fine linjene er ikke klarlagt. En mulighet er at de dannes som følge av variasjoner i tidevannet.

### Oksygenisotopsammensetning og temperatur

Oksygenisotopanalyser kan oppdage temperaturforskjeller ned til ca. 0.5 °C. Resultatene indikerte at sonene i skjelettet er korrelert med temperatursvingninger. Mønsteret på kurven over oksygenisotopsammensetning tilsvarte tydelig mønsteret for temperaturvariasjoner i de siste seks årene. Det tilsvarte helt presist antallet kraftige linjer i skjelettet (Figur 6.21). Et sterkt temperaturfall i vannet, som ga et lett synlig utslag i isotopsammensetningen, ble brukt som "tidsmarkør". Plasseringen av markerte vekstlinjer i forhold til isotopverdier og sjøtemperatur indikerte at disse spesielle linjene dannes en gang mellom januar og mars. Avstanden mellom endene av de fortløpende vekstbånd er et indirekte mål for årlig lengdevekst. I dette studiet var avstandene i gjennomsnitt 5.5 mm per år.

Sammenhengen mellom oksygenisotopforholdet og temperatur var ikke helt entydig. Variasjonen i  $\delta^{18}\text{O}$  var 3.5 ganger høyere enn hva man kunne forvente ut ifra temperaturvariasjonene på voksestedet. Likevel viste  $\delta^{18}\text{O}$  kurven et mønster som var svært likt temperaturkurven. Dette sammenfallet kan skyldes at det enten eksisterer en direkte sammenheng mellom vekstrate og temperatur, eller at det foreligger andre vekstfaktorer som også varierer med temperaturen.  $\delta^{18}\text{O}$  ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) var positivt og lineært korrelert med  $\delta^{13}\text{C}$  ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ). Ifølge andre forskere indikerer et positivt forholdstall at veksthastigheten er viktigere

enn temperaturen for sammensetningen av oksygenisotoper. Denne antakelsen understøttes ved at også  $\delta^{18}\text{O}$  var positivt og lineært korrelert med lengden mellom endene av vekstbånd (Figur 6.22).

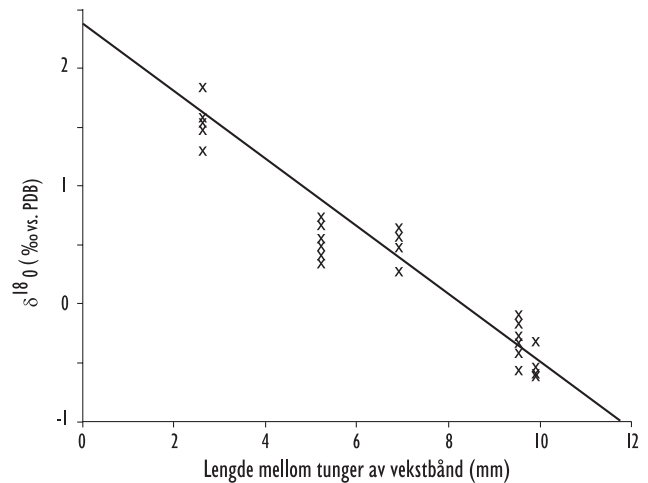


Fig. 6.22  
Forholdet mellom  $\delta^{18}\text{O}$  og avstand mellom vekstbåndtunger.  
*The relationship between  $\delta^{18}\text{O}$  and the length of linear extension intervals.*

Studier av isotopforholdet hos tropiske koraller har vist at der eksisterer en god korrelasjon mellom  $\delta^{18}\text{O}$  og temperatur. Hos kaldtvannskorallene derimot, er  $\delta^{18}\text{O}$  i større grad bestemt av veksthastigheten. Korrelasjonen er derfor svakere. Det arbeides nå med å utvikle metodikk som kan rendyrke den temperavhengige komponenten i  $\delta^{18}\text{O}$ . Ved å justere  $\delta^{18}\text{O}$ -verdiene etter lengdevekst målt i skjelettet, kan *Lophelia* vise seg å inneholde svært detaljert informasjon over temperaturforholdene i Atlanterhavet for de siste 8500 år.