

de næsten altid varsler deres ankomst ved, at vandstanden først falder, det vil sige at havet trækker sig tilbage fra kysten, hvorefter der går 20-30 minutter, inden den første store bølge når kysten. Så snart folk bemærker denne tilbagerækning, ved de derfor af bitter erfaring eller gennem officielle advarsler, at det gælder om at styre sin nysgerrighed med at gå på opdagelse ude på den tørlagte havbund, og tværtimod hurtigst muligt at søge op på højereliggende steder inde i land.

På basis af denne ændring i vandstanden har man i den sidste snes år således opretholdt et tsunami-varslingsystem, der forskellige steder i Stillehavet måler vandstanden og sender advarsler ud til truede kystområder, så snart man registrerer noget unormalt.

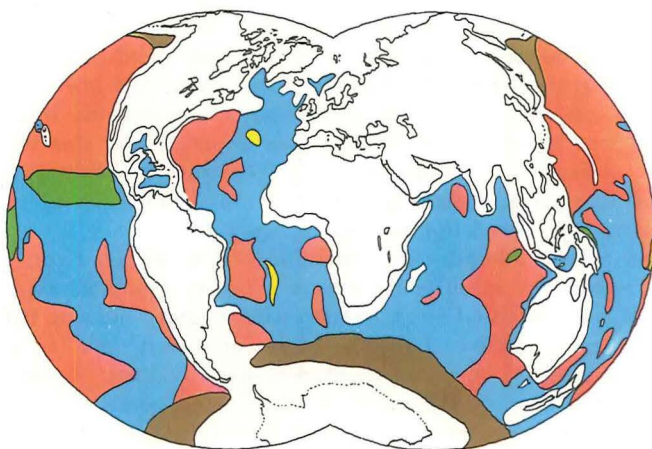
Niels Abrahamsen

oceanbund og klimahistorie

AF OLE OLESEN

Et særligt afsnit af geologiens arbejdsområde er palæoklimatologien eller studiet af fortidens klimaudvikling.

Geologiske aflejringer fra en kold og våd periode er forskellige fra aflejringer fra en varm og tør periode. Når vi derfor undersøger sådanne aflejringer, er det ofte muligt at slutte sig til, hvorledes klimaet var, da lagene blev afsat. Jo nærmere vi kommer vor egen tid, desto flere vidnesbyrd er der efterladt, og vor viden kan derfor blive mere detaljeret. Naturligt nok har den sidste af de geologiske perioder, kvartærtiden, været genstand for indgående palæoklimatologiske undersøgelser. Dette skyldes ikke blot, at denne periode ligger nærmest vor egen tid, men nok så meget de mange tydelige vidnesbyrd om vældige klimasvingninger - der har været istider vekslende med tider med et klima varmere end nu.



AFLEJRINGERNE PÅ OCEANBUNDEN

- Aflejret materiale fra fastlandene
- Rødt dybhavssler (blandt andet vulkansk støv)
- Hvidt dybhavsslam (med kalkskaller af encellede dyr, foraminiferer)
- Dybhavsslam med kalkskaller af vingesnegle
- Diatomesslam (med kiselalger)
- Radiolarsslam (med kiselskaller af encellede dyr)

Det er klart, at jo oftere et landområde i kvartærtiden har været overskredet af et isdække, desto vanskeligere er det at finde spor af de tidligste istider og mellemistider. Selv uden for de landområder, som var direkte dækket af is, vil mange spor være forsvundet i dag på grund af den aldrig standsende erosion. Det er derfor ikke så mærkeligt, at man fandt særlig interesse for dybhavets bundaflejringer, som ud fra teoretiske betragtninger over aflejringsforholdene måtte formodes at være så godt som komplette. Senere undersøgelser har vist, at disse formodninger ikke var helt rigtige, men ikke desto mindre giver dybhavsaflejringerne os en enestående mulighed for temmelig detaljeret at følge kvartærtidens klimaudvikling.

Skønt man længe var klar over de muligheder, der lå i studiet af dybhavets bundaflejringer, var det imidlertid ikke teknisk muligt at hente tilstrækkeligt gode prøver op fra de store dybder (omkring 4000 meter). Man kunne bogstaveligt kun skrabe bunden, og derved blev al lagdeling af betydning ødelagt. Først med udviklingen af rørsonderne lige efter århundredeskiftet, begyndte man at få prøver af andet end lige netop overfladelaget. Prøverne var imidlertid stadig ikke mere end ca. 3 meter lange, og først da stempelsonden blev udviklet i begyndelsen af fyrrerne, blev det muligt at tage betydeligt længere bundprøver.

Stempelsonden består i sin simpleste form af et langt rør, hvori der indvendigt sidder et tætsluttende stempel, som er forbundet med ophalerwiren. Ved hjælp af en udløseranordning slippes røret, når det befinder sig ca. 3 meter over bunden. På grund af sin egenvægt, plus en ekstra belastning på op til $1\frac{1}{2}$ ton, drives sonden ned i bunden, medens stemplet standses af ophalerwiren lige over bunden. Ved rørets bevægelse forbi stemplet opstår der derfor et vacuum under dette, hvilket bevirker at bundaflejringerne så at sige presses ind i røret på grund af det ydre tryk på og i aflejringerne. En ulempe ved sonden er, at lagdelingen i den øverste halve meter af aflejringerne ofte bliver ødelagt under oppresningen i røret. Med en sådan sonde er det muligt at indsamle prøver med en længde af ca. 20 meter, og i et enkelt særligt heldigt tilfælde er man endog nået op på 34 meter uden særlig forstyrrelse af lagstillingen. Hovedparten af de indtil nu indsamlede prøver er dog kun 10-12 meter lange.

Det kan måske lyde besynderligt, at man kan få et rør med en samlet vægt af blot et par tons til at synke mere end 30 meter ned i havbunden. Dette skyldes imidlertid, at bundaflejringerne til denne dybde kun i ringe grad er konsoliderede. I de øverste lag må man ligefrem regne med, at op til 85% af aflejringerens rumfang er vand.

Ved de palæoklimatiske undersøgelser af dybhavsbundprøverne er der to forhold, som særlig må tages i betragtning:

- 1) Hvornår blev de enkelte lag aflejret?
- 2) Hvilke oplysninger giver lagene om klimaet (her temperaturen) på den tid de blev aflejret?

Skal de palæoklimatologiske oplysninger fra de enkelte lag i bundprøverne have nogen videre værdi, må det være muligt at henføre dem til bestemte tidsrum, hvorfor de enkelte niveauer må aldersbestemmes. Ellers ville det for eksempel ikke være muligt at sammenligne de forskellige bundprøver, for at se om oplysningerne nu også stemmer overens, ligesom det heller ikke ville være muligt at drage sammenligning med oplysningerne fra landjorden.

Aldersbestemmelserne kan i en vis udstrækning ske ved hjælp af radioaktivt kulstof (C-14-metoden) (se Varv 1965 nr 1 og 1966 nr 3). Selv under de allerheldigste omstændigheder kan denne metode imidlertid kun benyttes til aldersbestemmelser ca. 70.000 år tilbage i tiden, og i praksis skal man ikke regne med mere end højst 40.000 år. Dette er imidlertid kun en brøkdel af det tidsrum, som er nødvendigt for at kunne aldersbestemme prøver, der stammer fra begyndelsen af kvartærtiden.

En anden pålidelig aldersbestemmelse synes at kunne opnås ved hjælp af forholdet mellem de radioaktive isotoper Pa-231/Th-230 (Pa = Protactinium, Th = Thorium), som begge stammer fra det radioaktive grundstof Uran. Isotoperne nedbrydes uafhængigt af hinanden, og har forskellig halveringstid, nemlig henholdsvis 34.300 og 80.000 år. Begge isotoper viser nogenlunde samme egenskaber, hvad angår optagelse i lerholdige aflejringer, og er desuden temmelig upåvirkelige over for genopløsning, når de først er blevet aflejret. Ud fra et kendskab til isotopforholdet ved aflejringsstidspunktet, samt målinger af det nuværende forhold, er det muligt at bestemme aflejringeres alder. Aldersbestemmelser op til ca. 36.000 år viser god overensstemmelse med C-14-metoden. De ældste aflejringer, bestemt med Pa-231/Th-230-metoden, giver aldre på 175.000 år, men "usikkerheden" på disse bestemmelser er så stor som ± 32.000 år. Med tilstrækkelig gode analysemetoder skulle det dog være muligt at forbedre disse resultater.

Ud fra aldersbestemmelser af forskellige niveauer i bundprøverne har det været muligt at bestemme aflejringshastigheden i Atlanterhavet. Den beløber sig i gennemsnit til 2,5 cm på 1000 år. Da mange af de optagne prøver er op til 20 meter lange, vil det sige at det nederste lag er ca. 800.000 år gammelt, hvis vi regner med konstant aflejringshastighed. Regner vi desuden med en vis sammentrykning af de nederste lag, bliver prøven endnu ældre.

Den "gennemsnitlige aflejringshastighed" er i stor udstrækning blevet benyttet til at aldersbestemme den del af prøverne, som er ældre end de godt 150.000 år, vi med nogenlunde sikkerhed kan bestemme. Det er meget uheldigt, da denne fremgangsmåde er yderst usikker, hvilket har givet sig udslag i meget forskellige opfattelser hvad angår kvartærtidens længde - se også de to kurver på side 61

Dybhavsaflæjringerne giver oplysninger om, hvorledes havenes temperatur har forandret sig i takt med de klimasvingninger, som fandt sted i kvartærtiden. I det følgende skal vi se, hvorledes disse temperaturudsving giver sig til kende.

Temperaturbestemmelserne kan deles i tre grupper, nemlig de fysisk-kemiske, de biologiske samt de sedimentologiske.

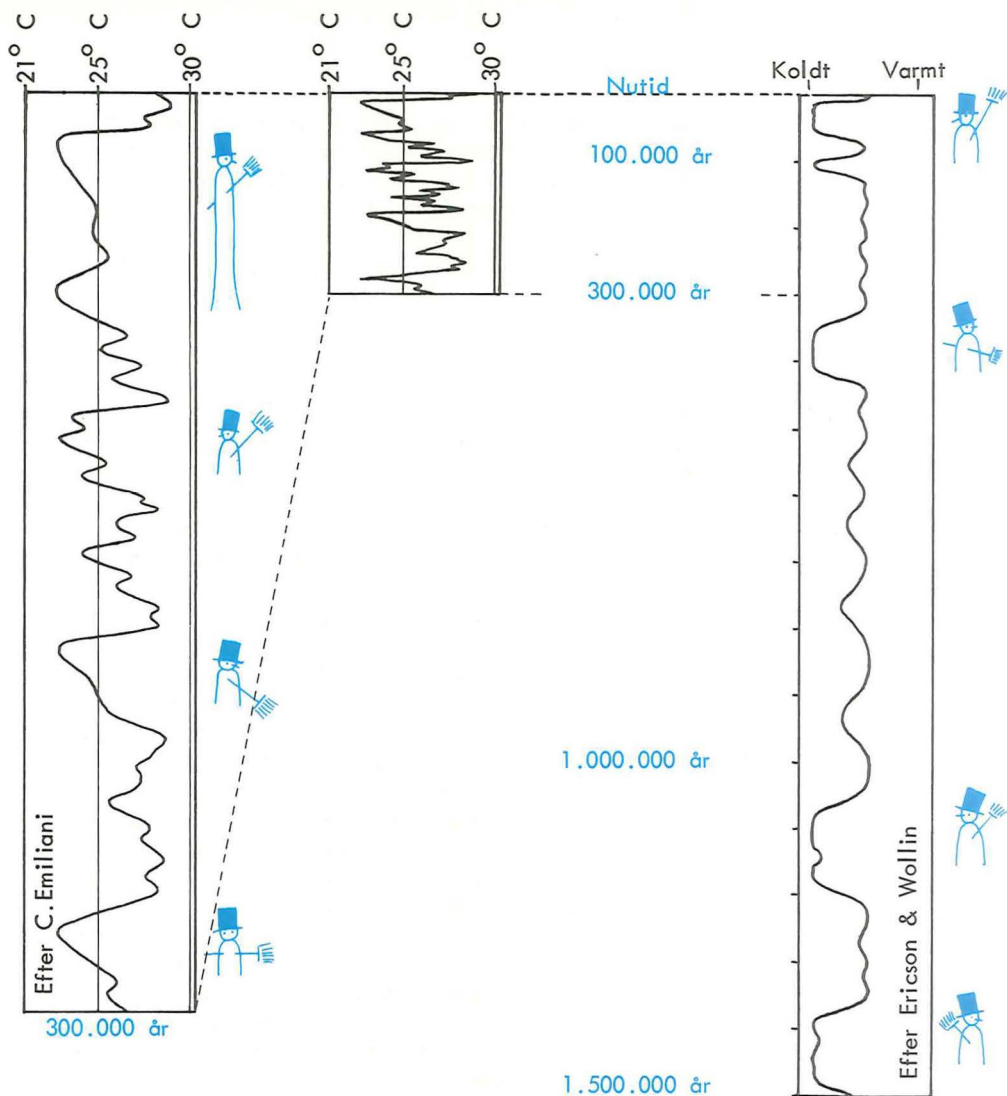
Den fysisk-kemiske temperaturbestemmelse bygger på, at der i naturen findes tre stabile iltisotoper, nemlig: O-16, O-17 og O-18, som indgår i havvandet i et bestemt temperaturafhængigt forhold. Alle havdyr, der optager ilt direkte fra vandet, optager de tre iltisotoper i samme forhold som disse findes i havvandet. En del af denne ilt indbygges i organismernes kalkskeletter eller kalkskaller, og ved at måle forholdet mellem O-16 og O-18 (se Varv 1966, 1) kan man bestemme, under hvilke temperaturforhold den pågældende organisme har levet (O-17 indgår i havvandet i så ringe mængde, at den lades ude af betragtning ved bestemmelserne).

Det er klart, at har havvandet i tidens løb ændret sin grundsamensætning med hensyn til iltisotoperne, så får dette indflydelse på de temperaturmålinger vi foretager. Da målingerne på dybhavsaflejringerne foretages på materiale, som er udfældet både i istider og mellemistider, har det vist sig nødvendigt at indføre korrektioner for havvandets ændrede iltisotopforhold. Ved fordampning fra havvandet er det nemlig fortrinsvis vand med den lette iltisotop O-16, der fordamper og når denne fordampning sker under en istid, hvor der bindes meget vand i form af is på kontinenterne, må der ske en relativ forøgelse af O-18 i havvandet og det bevirker, at man kommer til at måle en for lav temperatur. Ved at skønne over hvor meget vand, der har været bundet i form af is på kontinenterne, kan man finde frem til en korrektionsværdi på $1,7^{\circ}\text{C}$, der altså skal lægges til den målte temperatur.

I en mellemistid regner man med en total afsmeltning af isen på kontinenterne. Derved sker der en relativ formindskelse af havvandets indhold af O-18, hvorfor de målte temperaturer bliver for høje. I dette tilfælde er korrektionsværdien $1,3^{\circ}\text{C}$, som skal trækkes fra de målte temperaturer. Foruden de nævnte korrektioner er der grund til at foretage en række andre, som dog er mindre betydningsfulde, hvorfor de ikke skal nævnes her.

Ved disse temperaturmålinger koncentrerer man sig især om bundprøver taget nær Ækvator, hvor havvandets temperatur ændrer sig meget lidt året igennem. Herved undgår man de komplikationer, som støder til ved bundprøver fra for eksempel det nordlige Atlanterhav, hvor havvandets temperatur varierer ganske betydeligt i årets løb. Det er derfor navnlig prøver fra det Caribiske hav, det ækvatoriale Atlanterhav og Stillehav, hvorpå der er foretaget temperaturmålinger efter den beskrevne metode.

Til en enkelt temperaturbestemmelse behøves der blot aflejrede kalkskaller med en vægt af ialt 5 mg (0,005 g), som tages fra en 2 cm tyk skive af bundprøven, der har en diameter på ca. 5 cm. Når den tidsmæssige temperaturudvikling skal undersøges, tages der en prøve for hver 10 cm af den optagne bundprøve, og de enkelte prøver bliver derefter både aldersbestemt og temperaturbestemt. Den første temperaturkurve på side 61 er tegnet efter temperaturmålinger udført på kalkskaller fra døde foramini-



Forløb af temperaturændringer i oceanet ved Ækvator efter fysisk-kemiske metoder (til venstre) og biologiske metoder (til højre).

De kolde tidsrum kan sammenstilles med istider kendt fra landjorden - men en pålidelig og fuldstændig sammenstilling for hele kvartærtiden er endnu ikke lavet.

ferer (små encellede havdyr), og specielt fra arter som lever fritsvømmende på dybder af ca. 40 meter. Det er derfor havets temperaturvariation meget nær overfladen man måler. På den viste kurve er de tidligere nævnte korrektioner allerede foretaget, og det er derfor de reelle temperatursvingninger, som er afbildet. Det fremgår at temperaturudsvinget fra min. til max. er ca. 6°C . Et mål for hvor meget en temperaturforandring af denne størrelse betyder, får man ved at tænke sig en hævnning af den årlige middeltemperatur for Danmark på 6°C . Det ville svare til at vi fik et klima som ved den franske riviera. En sænkning på 6°C ville give os et klima som det nordligste Norges. Det er således ganske betydelige klimasvingninger, der er tale om.

Rent biologiske metoder kan ligeledes benyttes til at bestemme de kvartære temperaturvariationer i oceanernes overfladelag. Her er det igen de aflejrte kalkskaller fra fritsvømmende foraminiferer, som må holde for.

Forskellige foraminifer-arter har varierende krav til det omgivende havvands temperatur. Dette betyder, at inden for visse temperaturgrænser vil en bestemt gruppe af arter være til stede, medens andre ikke vil optræde, fordi havvandet er enten for koldt eller for varmt. Når man derfor bestemmer arterne og deres fordeling i de enkelte prøver er det muligt at bedømme, hvorledes temperaturforholdene har været, den gang lagene blev aflejret. Imidlertid er det et meget stort arbejde at bestemme og tælle alle skaller fra samtlige foraminiferarter i de enkelte prøver. Man benytter sig derfor af enkelte særligt temperaturfølsomme arter, hvis skaller enten tæles eller vejes i forhold til alle øvrige skaller. Dette giver også et mål for temperaturforholdene på aflejringstidspunktet omend ikke så nøjagtigt, som den ovennævnte metode. Endnu en metode er baseret på temperaturfølsomheden hos enkelte foraminiferarter. Det drejer sig her om arter, der er temperaturafhængige på den specielle måde, at de, alt efter det omgivende havvands temperatur, foretrækker at opbygge enten højre- eller venstresnoede skaller. Ved højere temperaturer vil for eksempel højresnoede skaller være dominerende, medens venstresnoede dominerer ved lavere temperaturer. En opgørelse af den procentvise fordeling af højre- og venstresnoede skaller for de pågældende arter vil derfor kunne benyttes, som mål for den temperatur hvorunder arterne levede.

De nævnte metoder har været benyttet ved undersøgelser af de samme dybhavsbundprøver, fra det Caribiske hav og det ækvatoriale Atlanterhav, som blev omtalt under den fysisk-kemiske temperaturbestemmelsesmetode. Ligesom dér er prøverne taget med 10 cm mellemrum og derefter både aldersbestemt og temperaturbestemt. Kurve nummer 2 viser klimaudvikling i kvartærtid baseret på de nævnte biologiske metoder. Metoden angiver ikke de absolutte temperaturforandringer, men kun de relative ændringer i forhold til nutidens klima. På kurven svarer midtpunktet mellem

koldt og varmt til de nuværende temperaturforhold og kurven viser derfor, om temperaturen har været højere eller lavere end nu.

Endelig skal en tredje metode, som i hvert fald kan benyttes til at adskille afgjort varme fra afgjort kolde stadier i aflejningsforløbet, omtales ganske kort.

I bundprøverne fra Atlanterhavet har det blandt andet vist sig, at varme stadier i almindelighed giver sig til kende ved aflejringens brune farve, medens kolde stadier er karakteriseret af en grå farve. Endvidere har bundprøver fra Atlanten på højde med Spanien vist sig at indeholde istransporteret sand, der tages som tegn på, at isbjerge er smeltet så langt mod syd. Det må betyde at klimaet i de pågældende tidsrum har været koldt.

Sammenlignes de to kurver på side 61, bemærker man straks de påfaldende uoverensstemmelser kurverne imellem. Dette er så meget desto mere bemærkelsesværdigt, som de begge er baseret på nøjagtigt samme materiale, som blot er undersøgt med to forskellige metoder. Umiddelbart kunne det derfor se ud til, at metoderne, eller i hvert fald den ene af dem, er uden værdi. Ser man nøjere efter, vil man dog bemærke, at kurverne i hovedtrækkene stemmer overens. Der er for eksempel det samme antal istider og mellemistider i dem begge. Aldersbestemmelserne er derimod helt ude af takt, idet den ene kurve øjensynligt spænder over et tidsrum, som er 5 gange så langt som for den anden. Metoderne til temperaturbestemmelse kan derfor udmærket være pålidelige, medens aldersbestemmelserne stadig er alt for usikre, så snart vi når ud over ca. 150.000 år, hvor C-14-metoden og Pa-231/Th-230 kan anvendes. Det egentlige problem for sådanne undersøgelser af kvartærtidens klimaudvikling er derfor rimeligvis at opnå tilstrækkeligt pålidelige aldersbestemmelser.

Olaf B. Olsen

VARV

Postadresse: Tidsskriftet VARV, Mineralogisk Museum, Østervoldsgade 5-7, 1350 København K. (Tlf. Mi 5001).

Redaktion: Erling Bondesen (ansvarshavende), Mona Hansen, Søren Floris, Valdemar Poulsen

VARV udkommer fire gange om året. Prisen er 11 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, postgiro 68880. (Moms inkluderet).

Alle henvendelser vedrørende adresseforandring, fejl ved bladets levering, og lignende bedes rettet til postvæsenet.

Eftertryk af tekst og billeder er kun tilladt med kildeangivelse.