

Symposium om
Geologi
og
Miljø



DGU

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Geologiske Undersøgelse

1995

Symposium om

GEOLOGI OG MILJØ

Henning Sørensen Symposiet

Afholdt på DGU den 18. september 1992 i Th. Sorgenfrei Auditoriet.



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Geologiske Undersøgelse



Henning Sørensen får under symposiet på Danmarks Geologiske Undersøgelse den 18 september 1992 overrakt et bore-skib, der skal symbolisere resultatet af en af hans utrættelige engagementer for at få Danmark placeret internationalt i geologiske miljøforskning. På det maringeologiske område medførte hans indsats således, at Danmark blev medlem af det internationale forskningsprojekt Ocean Drilling Program.

Udgivet af:
Danmarks Geologiske Undersøgelse,
Miljø- og Energiministeriet, 1994

ISBN: 87-89813-24-3

ISSN: 0904-8928

Oplag: 600

Lay-out: Helle Zetterwall

Tegning: Forfatterne og Helle Zetterwall

Omslag: Peter Moors

Repro: Benny Scharck

Montage og tryk: DGU

Tryk omslag: From og Co

Redaktion: Ole Stig Jacobsen

Teknisk Redaktion: Henrik Klinge Pedersen

© Danmarks Geologiske Undersøgelse

Thoravej 8, DK-2400, København NV, telefon: 31 10 66 00

INDHOLD

FORORD	4.
DET MISANTROPE NATURSYN: Jens Morten Hansen.....	5.
DYBHAVENES UDFORSKNING: Naja Mikkelsen.....	11.
DEN GEOLOGISK BÅNDOPTAGER: Niels Abrahamsen.....	14.
THE OXYGEN ISOTOPE RECORD FROM THE GRIP ICE CORE: Willi Dansgaard et.al.....	28.
TOSTRUP SALTDOME - EN GEOLOGISK MODEL OG ET NATURGASLAGER: F. Lyngsie Jacobsen og B. Leth Nielsen.....	32.
REGIONAL GEOKEMISK KORTLÆG- NING I GEOLOGI, MINERAL PROSPEK- TERING OG MILJØUNDERSØGELSER: Agnete Steenfelt.....	42.
MILJØHISTORIE S.Th. Andersen.....	51.
NARSSAQ-PROJEKTET BAGGRUND, OMFANG OG SIGTE: Carsten Langtofte.....	60.
MILJØGEOLOGI I DANMARK TILBAGEBLIK OG UDSYN: Henning Sørensen.....	63.
DELTAGERLISTE	70.

FORORD

I anledning af professor Henning Sørensen's afsked fra Københavns Universitet juni 1992 blev der på DGU den 18. september afholdt et Symposium med titlen: Geologi og Miljø.

Henning Sørensen var i en periode på godt 3 år (1976-79) ansat på DGU som statsgeolog og leder af kvartærgeologisk afdeling. Han havde en betydelig indflydelse på omdannelsen af afdelingen til en mere effektiv enhed, både med hensyn til det videnskabelige kortlægningsarbejde og særlig med hensyn til den praktisk orienterede anvendte geologi.

På universitetet var Henning Sørensen den første, der fra en lærestol knyttede geologi og miljøtilstanden sammen og afholdt forelæsninger, øvelser og seminarer med "miljøgeologisk" indhold, og påpegede den rolle som geologien spiller for forståelsen af det vi nu benævner "Miljøhistorie" i videste forstand.

Netop Henning Sørensen's interesse for miljøet og geologiens rolle for forståelsen af dets udvikling bar afgørende kim til en frugtbar periode på DGU, hvor de miljømæssige aspekter i instituttets arbejdsområder er blevet stedse mere centrale og vigtige på linie med de energimæssige arbejdsområder.


/ Ole Winther Christensen
Direktør

DET MISANTROPE NATURSYN

Jens Morten Hansen

En stor del af vi byboer skal bare tilbage vores egen eller vore forældres barndom for at mindes en tid som vaskeægte bønder. 'Bækken vi kyssed som små' og den frydsomme arbejdsglæde risler ikke dybt under skindet. Det kan vel også fortsat give en vældig længsel efter svundne tiders landboliv, 'når vinteren rinder i grøft og i grav', og når 'en stille høstlig brusen' går gennem bøgeskoven, og vi skal til at nyde frugterne af slidet og årets gang. Men vi er kort sagt blevet urbaniserede - dvs. indirekte storforbrugere af de naturrigdomme, som nogle ganske få andre dyrker eller udvinder for os.

Det er derfor ikke mærkeligt, at vi oplever en stadig større kløft mellem bymenneskets og landboernes natursyn og holdning til, hvad vi skal bruge naturen til. Kort sagt bliver vi bymenneskers natursyn mere og mere splittet mellem på den ene side bylivets fundering på en ensidig udnyttelse af Jordens rigdomme og på den anden side en samvittighedsplaget længsel efter landboens direkte kamp mod og pagt med naturen og årets uforstyrrelige gang.

Dybere og dybere i vores bevidsthed trænges landbefolkningens gamle natursyn, at naturen er udtryk for en balance mellem udnyttelse og beskyttelse af naturrigdommene, og at denne balance er nødvendig for menneskenes fysiske og åndelige overlevelse. Her overfor står byboernes natursyn i en stadig mere grel kontrast. Byernes brødfødsel og råstofforsyning opleves ikke som en del af naturens gang. I byboens natursyn skal naturen først og fremmest beskyttes mod menneskenes virkelyst, og naturforvaltningen skal først og fremmest tjene til lindring for den dårlige samvittighed, som bylivets massive udnyttelse af naturens råstofrigdomme og grokraft medfører.

Man kan også sige, at landboens natursyn typisk er præget af god samvittighed og selvtilid og dermed af virkelyst, mens byboens natursyn mere og mere præges af dårlig samvittighed, splittelse og mistillid til menneskenes motiver og dermed af konserverings- og forbudsløst.

Brundtland-rapporten handler i alt væsentligt om denne modsætning mellem by og land, og der er ikke tvivl om, at bæredygtighedsbegrebet af de fleste bliver tolket ensidigt til fordel for bymenneskets tab af daglig kontakt med naturen. Men bæredygtighedsbegrebet handler ikke kun om at bevare naturværdierne eller kun om at sikre levesteder for vilde dyr og planter, men nok så meget om at sikre en varig udvikling, som både kan skaffe mennesker brød på bordet, vand i vandhanerne, olie til oliefyret, råstoffer til byggeriet og industrien og levesteder for såvel mennesker som dyr og planter.

Bæredygtighedsbegrebet handler derfor i høj grad om at genindføre de gamle landbodyder om i bogstaveligste forstand at sætte tæring efter næring og om at stræbe mod at beherske naturen på en sådan måde, at dét, vi tolder af den, kan undværes eller kommer igen med årenes gang.

Mest tydeligt kommer konflikten mellem land- og byboens natursyn frem i de grønne (bymenneske) organisationers holdning til udkantsbefolkninger, der lever af og med naturen. Vi ser det grelt i de grønnes holdning til nordmændenes fangst af vågehval, færingerenes fangst af grindehval og grønlandernes sælfangst. Her er der tale om dyrearter, som ikke er eksistenstruede, og som udgør et væsentligt grundlag for de pågældende landbefolkningers økonomi.

Alene pga. disse arters overfladiske lighed med andre arter, som jages, fiskes eller nedslægtes af bymennesker til under eller nær de pågældende arters eksistensgrænse, gør bymenneskets kvalfyldte natursyn nu disse fiskere og jægere til syndebugke for bymenne-

skenes industrialiserede rovdrift på naturen, og for at alting ikke er som det burde være.

Da Ole Vinding levede og havde sin fortræffelige månedlige udsendelse i dampradioen 'Et bymenneske i naturen', fik vi den rene vare serveret. Vinding, som var talerør for mange ligesindede bymennesker, lagde ikke skjul på, at naturen for ham burde være som en have med smukke sangfugle og skønne blomster. For Ole Vinding var naturen i mindre grad livets og produktionsapparatets grundlag, men først og fremmest en æstetisk værdi, som samvittighedsfulde bymennesker burde beskytte bedre mod entreprenante landboer, jægere og råstofproducenter. Med hans og andre byboers baggrund er det nærliggende at opfatte naturen som en prydhave, som måske nok i et hjørne kan rumme et salatbed til ganens vederkvægelse, men haven - naturen - er først og fremmest til for samvittighedens og herlighedens skyld.

I dag finder bymenneskets natursyn langt mere bastante og farlige udtryk i form af de grønne organisationers spekulation i rent naturromantiske og sentimentale forehavender. I stedet for at dyrke kærligheden til naturen, dyrker man organisationens vækstpotentialer ved kommercielt at spille på visse dyrearters menneskelignende træk som f.eks. sælens og pandabjørnens store, blanke øjne og hvalernes sang.

Naturfredningerne i Danmark rummer mange eksempler på denne kløft mellem by og land. Talrige fredninger er gennemført på påstanden om, at de pågældende arealer er 'oprindelige' eller 'uberørte'. Altså at mennesker endnu ikke i afgørende grad har ændret dyre- og plantelivet på de pågældende arealer. Bortset fra, at oprindelighedsargumentet som oftest er uden sandhedsværdi, afspejler argumentationen bymenneskets misantropiske natursyn: I forhold til naturen anses landbefolkningen på linie med industrien som en destruktiv kraft, der skal begrænses ved central styring!

Oprindeligheden

For at tage oprindelighedsbegrebet først, så afhænger oprindeligheden naturligvis af, hvor langt man går tilbage i tiden. Her må synvinklen som udgangspunkt angå den tid, hvor de nuværende landskaber og det nuværende klima i det store og hele har eksisteret. Dvs. tidsperspektivet tager udgangspunkt ved istidens afslutning for godt 10.000 år siden, hvor de fleste af de nuværende landskaber blev dannet. Og i stenalderen for 5-7.000 år siden, hvor det nuværende klima begyndte, og hvor de nuværende kystlinier begyndte at tage form.

Men med dette tidsperspektiv er der praktisk taget intet oprindeligt tilbage i Danmarks natur, når bortses fra dele af de nye landområder, som er dannet i historisk tid. Anlægger vi et kulturhistorisk tidsperspektiv bliver tidsrammen mere end halveret, men resultatet det samme.

Alt er totalt forandret, dels af menneskers brug af landet, dels af de geologiske og klimatiske forandringer, som til stadighed modellerer og ændrer landet. De landskaber og naturtyper, som nogenlunde 'ligner sig selv' i oprindelig skikkelse er alle ganske unge og derfor ikke videre 'oprindelige'. Det er kysterne, som havets og vindens kræfter løbende genskaber, og det er ganske unge områder, som den yderste halvdel af Skagens Odde, hvor landet er så ungt og så ufrugtbart, at mennesker endnu ikke har taget det helt i besiddelse.

Ja, selv her findes store klitplantager, som er anlagt af mennesker for få årtier siden.

Og det land, som ligger ind imellem klitplantagerne er også mærkbart kulturpåvirket af menneskabt læ og af vindspredte frø af østrigsk bjergfyr og normannsgran. Begge arter er indført for få årtier siden.

Alt andet i det danske landskab er resultat af kulturpåvirkning. Jyllands heder er vidt omfang skabt af oldtidens landbrug, Øernes skove er formet af de sidste århundreders forstfolk og fredskovsplantningen, selv vildmoserne i Vendsyssel og Himmerland er ikke mere vilde, end at dræning har har tørlagt mosebunden og sænket terrænet mærkbart.

End ikke de største bakker har andet end en aflattet ydre form og de forvredne indvolde fra gletscherisens skubben og masen tilbage under muldens barberede 'maveskind'. De myriader af kampesten, som lå strøet ud over det ganske land ved istidens slutning, har mennesker samlet sammen til bygning af kirker, gravmæler, diger og veje. Således beredt for pløjning, har århundreders generationer af bønder udglattet de oprindeligt 'muskuløse' bakker, landskabsfurer og skrænter til mere kvindagtige og afrundede former.

Også dyre- og plantelivet er undergået radikale kulturskabteforandringer længe inden fredningsfolket begyndte at tale om oprindelig natur. Når der bortses fra klimaskabte ændringer som f.eks. mamuttens, rensdyrets, isbjørnens og hvalrossens forsvinden fra det danske landskab, må vi dog indse, at vi selv med fuldt overlæg har fordrevet tiger, urokse, bison, bjørn, elg, vildsvin, ulv og bæver fra naturområderne - velvidende at så oprindelige ønsker vi dem nu heller ikke!

Til gengæld for disse menneskeskabte og ønskværdige tab af dyrearter i det danske landskab har vi så fået nogle andre, som passer bedre til vores nutidige levevis, og som landets omdannelse fra skov til agerland har skabt leverum for. Uden denne menneskeskabte omdannelse havde vi ikke haft haren, urfuglen, agerhønen, koen, hesten, grisen, fåret, geden, hunden, katten, hønen og gåsen og i de senere århundreder heller ikke den allestedsnærværende asiatiske fasan. Vi havde nok også måttet undvære de fleste gråspurve, lærker, viber, måger og vadefulgle, ligesom den righoldige mængde af planterarter på enge og overdrev samt andet ukrudt ville have været os forskånet.

Nej, oprindeligheds- og uberørthedstanken og de mange deri begrundede fredninger og statsopkøb kan ikke skaffe os bidder af Danmarks 'oprindelige' natur tilbage. Desværre henligger talrige fredede områder, f.eks. heder, overdrev og enge, som ufremkommelige krat af selvsåede 'opportunist' eller pionerplanter som fyr, birk og pil. Fredningerne har nemlig sat en stopper for den arealanvendelse, som skaber og vedligeholder de pågældende naturtyper.

Tilbage bliver nogle ganske få naturskove, som arealmæssigt er forsvindende i forhold til de øvrige skove, fredninger og statsopkøb, men som på et videnskabeligt forsvarligt grundlag kan påstås at være nogenlunde oprindelige.

Det vi mangler er ikke naturfredninger og forbud, men naturaktivisering og brugstilladelser, som bygger på den forståelse, at naturen er lige så lidt konserverbar som et levende væsen. Naturen er en proces, som udtrykker den til enhver tid foranderlige balance mellem naturkræfterne og menneskers virke. Naturen kan ikke puttes på konserverdåser og syltetøjsglas, som man kan tage smagsprøver af en gang imellem - f.eks. i sommerferien, når det behager os at være på landet. Naturen omkommer af konserveringsmidlet - fredningerne - og 'sygdomskim' fra det omkringliggende land - opportunisterne - vil finde fine vækstbetingelser, når immunapparatet, dvs. den vedvarende arealanvendelse, ødelægges af fredninger og andre arealmæssige revolutioner. Naturen kan konserveres lige så lidt som en proces kan fastfryses og stadig være en proces.

Vi må derfor gøre op med konserveringstanken (oprindeligheds- og uberørthedsfilosofien) og det bagvedliggende misantrope natursyn, som er de grønne organisationers nuværende idégrundlag. Uden menneskers samliv med og hensigtsmæssige påvirkning af naturen kan vi ikke opretholde de typer af naturarealer, som vi gerne vil have. Vi skal

tværtimod have ret til at bruge naturen mere og i større overensstemmelse med den gamle landbotæknings nyttefilosofi.

Kun derigennem kan vi fastholde den kærlighed, indsigt og afhængighed, som i det lange løb kan sikre 'et yndigt land', der 'står med brede bøge' og sikre 'lyngen' som 'et pragtfuldt tæppe'. Hvordan skal vi kunne fatte kærlighed til og få indsigt i naturen, hvis vi ikke må udnytte den, og hvordan skal vi få lyst til at bevare den, hvis vi ikke er afhængige af den?

Når vi færdes i naturen skal vi altså have både nyttige og fornøjelige ærinder. Det kan bedst ske gennem udvidelse af adgangsretten og gennem udvikling af brugsretten. Ikke ved flere 'pilestier', kørefaste grusveje, guidede udflugter, fuglekikkertårne, og hvad ved jeg af urbane lokkemidler, men ved ret til flere fundamentale nytteoplevelser og ved natu-
rentrepræsentation.

Hvor meget rigere er oplevelsen ikke ved en tur i skoven, når man kender et sted med kantareller, blåbær eller slåen. Hvor meget skærpes oplevelsen ikke ved at have fiskestangen med til bækken. Hvor meget skønnere bliver strandturen ikke, når der er også skal ses til ålerusen. Hvor meget intensere bliver ikke traveturen, når jagtbøssen er med, og Gud pludselig puster liv i en brun jordklump og gør den til en trykkende hare. Og hvor mange flere dimensioner får landskabet ikke, når grusgraverens gummiged har rullet bakkens maveskind til side og blotlagt jordens forvredne indvolde til glæde ikke alene for den, der skal bruge bakkens grus, men også for den, som har fantasien i behold og kan forestille sig de kræfter og naturfænomener, som engang var realiteter og skabte dette sted.

Af disse og mange andre lignende grunde er det afgørende for kærligheden til naturen at bevare mulighederne for, at enge, overdrev, heder, skove, bakker og dale fortsat befolkes med foretagsomme mennesker og maskiner, græssende køer og andre umælende vegetarer, som kan forme landskabet i pagt med vore fysiske og åndelige behov. Hellere det end mondæne stisystemer og farvestrålende 'ubemandede informationspunkter' og andre grønne solemnitetsale, som nok snarere skal styrke kærligheden til embedsværket, den grønne forening og turistforeningen end til naturen.

Vi mennesker skal - især af hensyn til bevarelsen af kærligheden til naturen og os selv - have lov til at bruge den overalt, hvor det kan lade sig gøre. Naturen skal være dyrebar, for at vi kan elske den. Hvem kan fryde sig over en urørlig formue i Overformynderiet. Naturen skal ikke på museum, når den ikke kan være i en montre. Så ville det være bedre at drive rovdrift på den.

Kummerlandskaberne

Den sidste påstand er ikke kun en provokation, men et også et forhold, som kan begrundes seriøst. Nogle af Danmarks største og mest værdifulde naturområder er skabt gennem menneskers rovdrift og udpining af jorden. Læsøs, som er landets mest fredede kommune, rummer et væld af naturskønne og vidtstrakte landskabstyper: Heder, hedemoser, indsander, saltenge. Men alt er menneskers værk i kraft af 8 århundreders saltindvinding og deraf følgende afbrænding af den oprindelige løvblandingsskov. Saltindvindingen blev Danmarks første storindustri og medførte, at den oprindeligt frodige ø i 1600-1700 tallet hærgedes af sandflugt og afblæsning, som i de følgende 2 århundreder skabte de kummerlandskaber, som vi paradokst nok sætter så megen pris på, at vi har fredet dem.

Andre eksempler på kæmpestore, menneskeskabte kummerlandskaber kan nævnes: Hans-tedreservatet, Råbjerg Mile, Tisvilde Hegn, Tibirke Bakker, Vrads Sande og andre store strækninger i Midt- og Vestjylland er alle udslag af overudnyttelse og udpining. Men i dag

finder vi, at disse landskaber hører til landets største naturskatte.

De yngste skud på denne paradoxale stamme, som nådesløst afslører vort nuværende natursyns utilstrækkelighed, er f.eks. de Midtjyske brunkulslejer, de store graveområder ved Vigsø Bugt i Thy og de inddæmmede og affaldsopfyldte arealer på Vestamager og i "Ørestaden". Disse arealer opleves af mange som nogle af landets mest naturskønne og rekreative arealer. Der finder man masser af appel til fantasien og et præg af oprindelighed, som ikke ses mange andre steder. Friseringen har ikke gjort sin entre - endnu.

Men menneskets sorgløse skaberkraft med buldozere, gravemaskiner, skrald og planløshed har ganske uforvarende og uden misantrop konserveringslyst skabt usandsynligt dejlige åndehuller, hvor selv en bybo uden dårlig samvittighed, syndsforladelse eller andægtig solemnitet kan trække vejret i naturens hellige haller.



DYBHAVENES UDFORSKNING:

Resultater fra det internationale forskningsprogram ODP

Naja Mikkelsen

Herakleitos fra Efesos fremkom omkring 500 f. Kr med det kendte udsagn "panta rei" - alting flyder. På daværende tidspunkt var han næppe klar over, hvor eviggyldigt udsagnet ville være og ikke mindst i geologiske sammenhænge.

Store dele af jordens overflade er stadig relativt udforsket. Havområder med en gennemsnitsdybde på ca. 3,8 km dækker nemlig mere end 70% af jordens overflade. For at øge mulighederne for at udforske disse svært tilgængelige områder etableredes i 1983 et stort internationalt forskningsprojekt Ocean Drilling Program (ODP) som en direkte fortsættelse af Deep Sea Drilling Project. Boreprogrammets tidligste dybhavsboringer i Atlanterhavet gav de første håndgribelige beviser for korrektheden af den pladetektoniske teori, og dermed at "panta rei - alting flyder", når det gælder jordens geologiske udvikling.

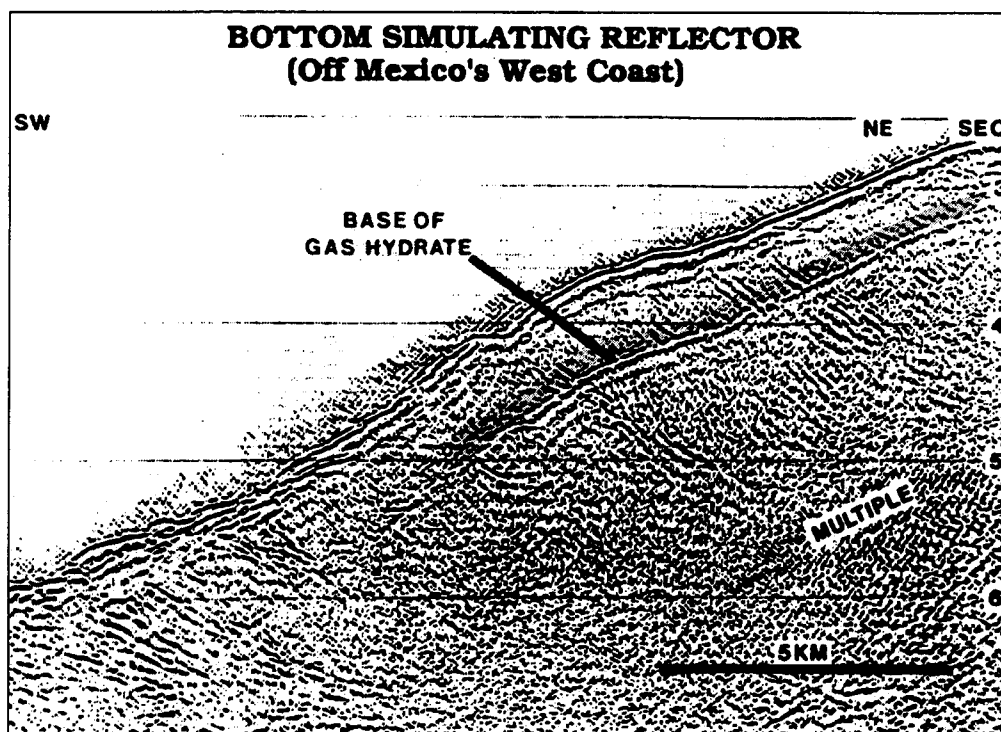
ODP's videnskabelige program er baseret på boreforslag, som udarbejdes af internationale forskningsmiljøer verden over. Dette sikrer, at en lang række videnskabelige problemkredse i årenes løb er blevet belyst ved boringer i verdenshavene. Det store og teknisk set avancerede boreskib har således opereret i alle områder af dybhavene (fig.1) og tilvejebragt mere end 160 kilometer havbudskerner samt et væld af geofysiske data.

Der er tradition for, at boreprojektet frembringer kontinuerte dataserier til belysning af variationer i Jordens klima og havniveau. Ændringen i jordens klima fra kridttidens varme forhold (drivhusklimaet) til den tertiære nedkøling med dannelsen af de polare iskapper (frysehusklimaet) er afspejlet i de mange kilometer sedimentkerne fra dybhavens bund. Analyser af disse klimadata bruges til at tolke årsagssammenhænge i klima variationer - og til støtte for modelarbejdet vedrørende fremtidens klima.

Programmet har i de forløbne år arbejdet på teknologiske nyskabelser for bl.a. at kunne gennembore Moho diskontinuiteten og nå ned i jordens øvre kappe, og for at kunne bore i nydannet havbundsskorpe tæt ved aktive spredningszoner. De planlagte boringer i hydrotermale systemer nær oceaniske pladegrænser bliver også en stor udfordring for ODP. Boringerne skal udføres i temperaturer på omkring 350°C for at undersøge den geokemiske flux samt mineralogien og geokemien af disse systemer. Fremover vil der også i udvalgte borehuller blive installeret forskellige instrumenter til langvarige eksperimenter og in situ dataregistreringer for bl.a. at belyse stress og jordskælvsforhold i de oceaniske plader.

1. Overalt i verdenshavene er der foretaget dybhavsboringer, som belyser den geologiske udvikling af jorden.

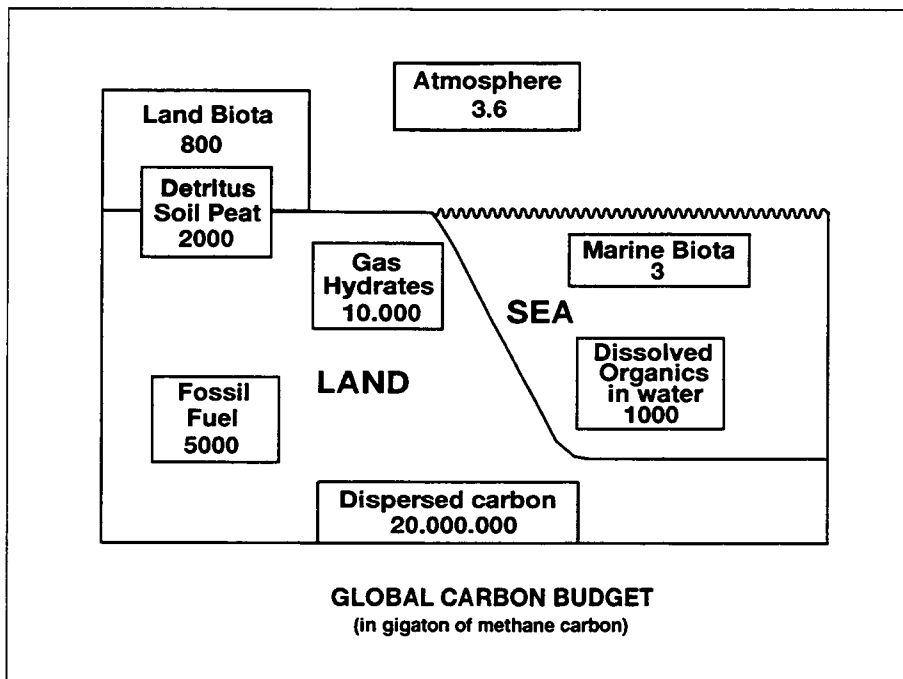
Gas hydrater er en anden interessant problemstilling, som ODP i øjeblikket arbejder med. Gas hydrater er en krystalin fase af overvejende metan og vand, som kun er stabil i et snævert tryk/temperatur felt. Da gas hydrater er ustabile under normale tryk- og temperaturforhold er de kun sjældent observeret i borer. Gas hydrater kan ses på seismiske profiler som relativt kraftige reflektorer, der gennemskærer sedimentære lagplaner og efterligner havbundens topografi. Reflektorerne kaldes derfor Bottom Simulating Reflectors (BSR; Fig 2). Disse reflektorer optræder på seismiske profiler fra shelfområder og på kontinentalskrænter fra få meter til flere hundrede meter under havbunden og på havdybder, der overstiger ca. 300 m. Som følge af de lave temperaturer i polare egne findes gas hydrater på ringe vanddybder i Arktis, og i borer på land er gas hydrater påtruffet nær overfladen i den permafrosne jord.



2. Seismisk profil fra shelfområdet ved New Mexico, hvor gas hydraterne fremtræder som tydelige reflektorer parallelt med havbunden.

Gas hydrater består overvejende af biogent dannet metan, og meget tyder på, at der under den faste hydrat findes fri gas, som tilbageholdes af den impermeable zone. Det antages, at der er bundet ca. 1×10^{14} gigaton kulstof i gashydraterne - hvilket svarer til den dobbelte mængde af jordens kendte energireserver af olie, gas og kul. (Fig. 3). Hvorledes gashydrater dannes er endnu uafklaret.

Da gas hydraterne kun er stabile inden for et ret snævert tryk- og temperaturområde, vil ændringer i disse parametre kunne destabilisere gas hydraterne og frigøre den frosne gas. Denne methangas er en langt mere virkningsfuld drivhusgas end kuldioxid, og frigørelse af gas fra hydraterne kan derfor forårsage alvorlige ændringer af jordens klima. Under istiden var verdenshavene godt 100 meter lavere end i dag. Dette betød, at tryk- og temperaturfor-



3. Ifølge konservative skøn kan gashydrater udgøre en energireserve, der er dobbelt så stor som jordens kendte olie, gas og kul forekomster.

holdene i shelfområderne var ændret betydeligt, og at gas hydraterne destabiliseredes. En destabilisering af af hydratzonen vil ændre sedimenternes mekaniske styrke med slumping og blokforkastning af store sedimentpakker til følge. Det er derfor tænkeligt, at gas hydrater har haft en afgørende indflydelse på udformningen af shelfområdernes stratigrafi og tektonik, og dermed det sekvensstratigrafiske mønster vi ser i dag.

Ved de store udglidninger er det også tænkeligt, at mængder af drivhusgas frigøres til atmosfæren. Markante udglidninger i shelfområderne på grund af destabiliseringer af gashydraterne har således kunnet finde sted under istiderne, hvor dannelsen af de store iskalotter forårsagede de drastiske fald i havniveauet. Den fremadskridende nedisningen kunne dermed forårsage frigørelse af en stadigt stigende mængde drivhusgas til atmosfæren, som opvarmes og derved udløser en deglaciation.

Nærmere undersøgelser af gashydraternes stabilitet og forekomst skal vise, om der er muligt at udnytte disse tilsyneladende enorme energireserver kommercielt, og dermed på langt sigt løse jordens energiproblemer.

DEN GEOLOGISK BÅNDOPTAGER: PALÆO-, BIO- OG MILJØMAGNETISME.

Niels Abrahamsen

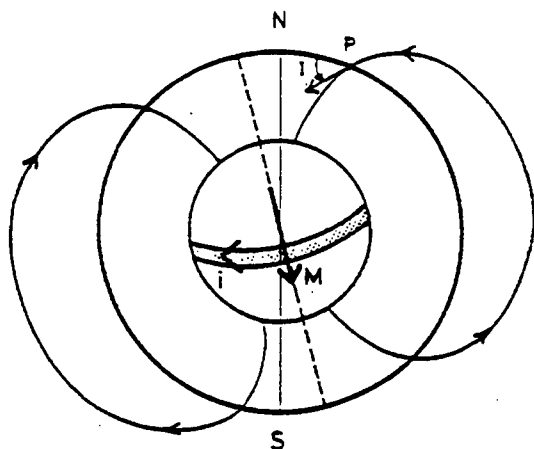
Abstract:

A short introduction to geo- and paleomagnetism, historical background, rockmagnetism and laboratory techniques are given. The hypothesis of an axial dipole field is stressed, and some paleomagnetic results from Scandinavia and Greenland are illustrated. Application of reversals are illustrated with examples from continental and deep sea cores, and finally the increasing importance of environmental magnetism, magnetic surveying for waste deposits, and biomagnetism is stressed.

Introduktion: Geo- og Palæomagnetisme.

Jordens magnetfelt er til stede overalt. Hovedparten af feltet dannes ved en selv-eksisterende dynamo-mekanisme i jordens roterende og flydende, metalliske kærne, der er elektrisk ledende og derfor kan fungere som en kæmpedynamo (Fig. 1). Geo-dynamoen omdanner termisk energi via konvektionsbevægelser til elektrisk og magnetisk energi. I geologisk sammenhæng fungerer geo-dynamoen analogt med et tonehoved i en båndoptager. Hvordan dynamofeltet egentlig dannes forstår man (endnu) ikke i detaljer (se f.eks. Merrill & McElhinny 1983). Men resultatet, et globalt magnetfelt, kan vi alle erkende her på jordoverfladen v.h.j.a. et almindeligt magnetisk kompas.

Når bjergarter dannes ved de geologiske processer på eller ved jordens overflade (som ved aflejring af sedimenter, ved magmabjergarter der afkøles, eller ved rekrystallisation og kemisk vækst af krystaller ved diagenese eller i metamorfe bjergarter), bliver de jernholdige mineraler i bjergarterne magnetiseret af magnetfeltet, lige som det sker for jernoxiderne



Figur 1: Jordmagnetfeltet kan med tilnærmelse opfattes som et simpelt dipolfelt forårsaget af en dipol med dipolmoment M , der har centrum i jordens midte (denne model kan forklare ca. 90% af magnetfeltet, resten af feltet er mere uregelmæssigt). Gennem et punkt P på jordoverfladen danner feltets kraftlinjer vinklen I (Inklinationen) med horisontalplanet. Deklinationen (den vandrette vinkel) ses ikke på figuren, men svarer til den vinkel en kompasnål danner med meridianen (geografisk nordretning). Dipolaksen danner en lille vinkel med rotationsaksen; denne vinkel varierer (i nutiden er den ca. 110), hvilket sammen med variationer i de sidste ca. 10% af feltet giver anledning til den magnetiske sekularvariation. Udjævnet over længere tidsrum (50-100.000 år) er dipolaksen med god tilnærmelse parallel med jordens rotationsakse NS , hvilket er baggrunden for magnetfeltets anvendelse til pladetektoniske rekonstruktioner langt tilbage i tiden, hvorfra marin-magnetiske anomalier ikke er bevaret.

på båndet der glider forbi tonehovedet i en båndoptager (punkt P i Fig. 1). De får herved en magnetisk hukommelse: en remanent magnetisering. Med palæomagnetiske metoder kan bjergarternes magnetiske signaler senere (i nutiden) afspilles, og bjergarternes geomagnetiske "musik" kan derved berette om jordmagnetfeltets og de geologiske materialers udviklingshistorie. Gode lærebøger herom er bl.a. Tarling (1983) og Butler (1992).

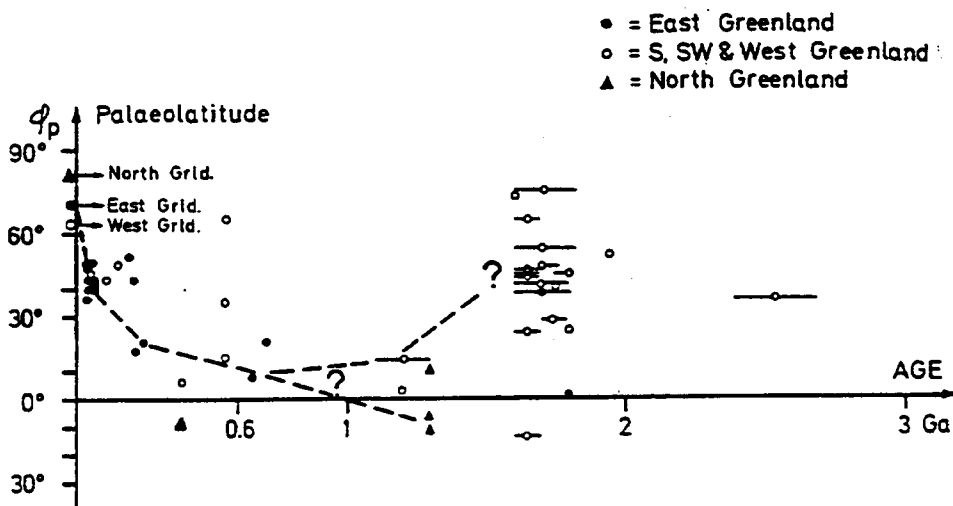
Foruden den magnetiske hukommelse i materialet har alle materialer en magnetisk susceptibilitet som bevirker at der ved induktion fra jordmagnetfeltet dannes et lokalt magnetfelt, en magnetisk anomali. Den magnetiske anomali kan måles ved jordoverfladen (eller fra skib eller fly), hvorved eksistensen af et materiale med en afvigende susceptibilitet eller remanens i forhold til omgivelserne kan afsløres. Dette udnyttes bl.a. ved magnetisk prospektering efter råstoffer samt ved kortlægning af geologiske strukturer i alle skalaer (f.eks. marinmagnetiske anomalier), og kan følgelig også anvendes ved eftersøgning af skjulte lossepladser der indeholder skrot, byggematerialer, tønder med kemisk affald, og meget andet.

I det følgende vil nogle eksempler på magnetiske undersøgelser til belysning af forskellige geologiske problemer blive beskrevet.

Historisk baggrund

Magnetfeltet har været kendt tilbage i oldtidens Kina, og magnetjernsten (mineralet magnetit, Fe_3O_4) var kendt i det antikke Grækenland, men den europæiske udnyttelse af kompasset stammer antageligt fra slutningen af 1100-tallet, hvor det bl.a. synes at have været brugt til orientering ved anlægget af mange danske landsby-kirkers fundament, idet ca. 1/4 af kirkerne er systematisk skævt orienteret, d.v.s. "drejet" med uret en vinkel på et sted mellem 5 og 15° fra verdenshjørnerne (Fig. 2), hvilket kan forklares ved den daværende misvisning i Nordeuropa (Abrahamsen 1992).

Kendskabet til jordmagnetfeltets opførsel og egenskaber vokser gradvist frem gennem de store opdagelsesrejsers behov for navigationsredskaber. H.C. Ørsted opdager sammenhængen mellem elektrisk strøm og magnetfelt i 1820, og C.F. Gauss og W.E. Weber sætter gang



Figur 2: Orientering af 98 romanske landsbykirker fra Sønderjylland (Abrahamsen 1992). En del af kirkerne har en orientering af skibet, der i gennemsnit danner en vinkel på ca. 100 med verdenshjørnerne, på trods af at kirkerne skulle anlægges med koret imod øst. Da kirkerne alle er anlagt i 11-1200 årene, og da misvisningen i Danmark var systematisk østlig i hele perioden 1000-1600 AD, jf. Fig. 9, sandsynliggør det, at et magnetisk kompas var kendt og blev benyttet meget tidligt i Danmark.

i oprettelsen af geomagnetiske observatorier fra 1834. Der findes i dag omkring 150 sådanne observatorier på kloden, hvor de nutidige egenskaber af og variationer i magnetfeltet registreres og bearbejdes. Observatoriedrift i Danmark (nu i Brorfelde, tidligere i Rude Skov) samt i Grønland varetages af Meteorologisk Institut.

Alfred Wegeners forkætrede teori om kontinentaldrift fra 1910 blev genoplivet i 1950-erne via palæomagnetismen, der støttede hans "vilde fantasier" (nogle palæontologer og strukturgeologer havde dog hele tiden været tiltrukket af kontinentaldriftteorien, mens især geofysikerne var stærkt imod den, fordi man ikke havde nogle acceptable fysiske modeller). Det rigtigt store boom i palæomagnetisme skete dog først i 1960-erne, da Vine & Matthews (1963) foreslog, at der er en simpel, systematisk sammenhæng imellem nogle marinmagnetiske anomalier målt ude i Det indiske Ocean og den geomagnetiske polaritetsskala, som den netop var ved at blive etableret på K-Ar-daterede lavaflows fra plateaubasalter på land (f. eks. Cox et al. 1963).

Med denne fundamentale "kortslutning" mellem to tilsyneladende væsensforskellige informationsområder inden for geologien, den radiometriske tidsskala og polariteterne på land, og de marinmagnetiske anomaliers datering af den marine jordskorpes dannelse, fik vi pludselig en nøgle til at datere dannelsen ca. 70% af jordens overflade! Og endda de dele af overfladen, som var dårligst kendt, de dybe oceaner: En bedrift, der medførte geologisk nytænkning, som vi endnu arbejder ihærdigt på at udnytte: Kloden er jo trods alt temmelig stor, og den skal først opmåles magnetisk i detaljer, før informationen, de magnetiske anomalier, kan udnyttes til geologisk tolkning.

Palæomagnetismen bliver derved en mulig nøgle til forståelse af jordens fortid, idet den som et geologisk redskab kan bruges til både at fortælle om kontinenternes (lithosfærepladernes) relative positioner, rotationer og flytninger gennem geologisk tid, d.v.s. om kontinentaldrift og pladetektonik, samt benyttes til globale stratigrafiske korrelationer, den såkaldte magnetostratigrafi. Endvidere kan magnetiske surveys give oplysninger i vidt forskellig skala om geologiske strukturer, om råstofforekomster, samt om menneskeskabte strukturer og deponeringer.

Magnetiseringsmekanismer og Bjergarters magnetisering

Jern findes i de fleste bjergarter, typisk i form af nogle få procent jernoxyder som f.eks. magnetit og hæmatit. Kun meget rene kalk- og kvarts-feldspat-bjergarter er undtagelser herfra. Disse jernoxyder (ferromagnetika) er af samme art som dem, der bruges til belægning af kassettebånd. Når meget små ferromagnetiske krystaller magnetiseres, kan de bevare deres magnetisering i stabil form i meget lange tidsrum, forudsat at de ikke forstyrres brutalt af omgivelserne ved at blive remagnetiseret, d.v.s. "genindspillet", f. eks. ved senere opvarmning, rekristallisation eller trykpåvirkning.

Jordskorpen er opbygget af et forvirrende sammensurium af bjergarter, som dog stort set kan opdeles i 3 hovedtyper: sedimenter, magmatiske og metamorfe bjergarter. De metamorfe bjergarter er dannet ud fra de to første typer. Til hver hovedtype svarer en speciel magnetiseringsmekanisme, og derfor har næsten alle bjergarter en remanent magnetisering, som vi kan "afspille" på et magnetometer i laboratoriet.

I magmatiske bjergarter som f. eks. lava dannes magnetiseringen ved induktion af det omgivende jordmagnetfelt, d.v.s. "indspilningen" af jordmagnetfeltets retning og størrelse finder sted, når jernoxyderne i lavaen køles et stykke ned under Curie-temperaturen (typisk 500-600°C, men dog stærkt afhængigt af Ti-indholdet). Processen kan fortsætte helt ned til overfladetemperaturer, afhængig af mineregenskaber, kornstørrelse m.m. Da lavaen jo

allerede størkner ved temperaturer typisk omkring 1000-1200° C, sker magnetiseringen altså i fast fase. Ved nedkølingen låses den inducerede magnetisering fast i de ferromagnetiske mineraler, og ved de lavere overfladetemperaturer (typisk 0-30° C) har bjergarten fået en såkaldt termoremanent magnetisering, en TRM.

I et sediment som f.eks. gytje, dybhavsslam, kalk, ler eller sand dannes en del af magnetiseringen ved at de enkelte små mineralkorn af jernoxyder synker ned ved aflejringen som småmagneter, der statistisk søger at orientere sig parallelt med det lokale jordmagnetfelt. Når sedimentet senere konsolideres og omdannes ved diagenetiske processer, låses magnetiseringen gradvist fast. Derved har det fået en såkaldt detrital remanent magnetisering, en DRM.

I metamorfe bjergarter dannes den remanente magnetisering ved at krystallerne rekrystalliseres. Når nye krystaller af jernoxyderne undergår en kemisk vækst i jordmagnetfeltet, overgår de fra en oprindelig umagnetisk tilstand, når de er meget små (typisk omkring 0.1 µ, men stærkt afhængigt af mineralkemien), til en magnetisk tilstand. Bjergarten får derved en såkaldt kemisk remanent magnetisering, en CRM.

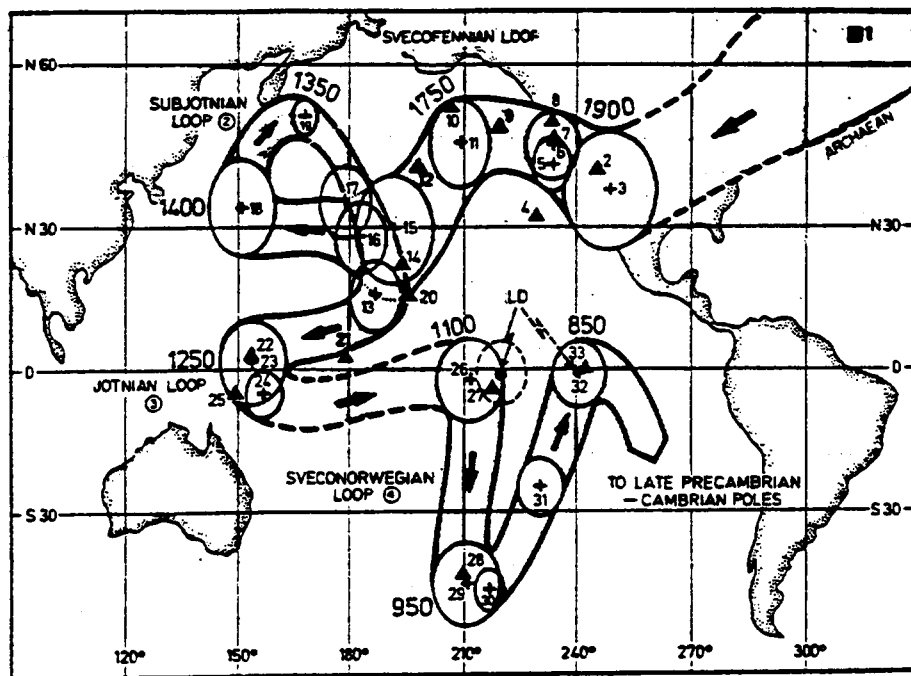
Hvis metamorfosen foregår ved øgede temperaturer, hvad den normalt gør, vil bjergarten ved en senere afkøling også få dannet en partiel TRM. Sedimenter får under diagenesen evt. også en CRM ved rekrystallisation, så det er ofte vanskeligt at sætte klare grænser imellem typerne. Endelig vil senere ændringer i jordmagnetfeltets retning kunne ændre den oprindelige magnetisering ved dannelse af en såkaldt viskos remanent magnetisering, VRM, der gradvist vokser frem i den nye retning på bekostning af den tidligere.

Laboratorieundersøgelser

Bjergarter kan have gennemløbet en mere eller mindre omskiftelig geologisk udvikling. Derfor vil deres naturlige remanente magnetisering, den såkaldte NRM, oftest være opbygget af flere komponenter, der kan være dannet til forskellig tid, og ved forskellige tektoniske orienteringer af prøven eller feltet.

Disse komponenter skal derfor skilles ud fra hinanden før man kan opnå en meningsfuld geologisk fortolkning. Det gøres ved forskellige laboratorieforsøg, hvor de indsamlede (temmelig mange) orienterede bjergartsprøvers magnetisering måles på et sensitivt magnetometer. De almindeligste typer er det sensitive spinmagnetometer (normalt et fluxgate-magnetometer), hvor prøverne roterer nogle sekunder inde i et magnetisk feltfrit rum, og det endnu mere følsomme Cryogene magnetometer, som kan måle remanensen selv i så magnetisk rene materialer som skrivekridt, eller i vævsprøver m.m. Prøverne skal have en veldefineret form, enten som en kort cylinder (borekærne) eller en terning.

Efter målingen underkastes prøverne en serie gradvise afmagnetiseringer v.h.j.a. et vekselmagnetfelt eller ved en kontrolleret trinvis opvarmning og nedkøling i et feltfrit rum, hvorefter prøverne genmåles; dette gentages adskillige gange med små intervaller, hvorved de forskellige magnetiske komponenter (forhåbentlig) kan udskilles. De karakteristiske magnetiserings-komponenters retninger bestemmes ved en såkaldt PCA (Principal Component Analyse), og de fundne (primære) magnetiseringsretninger grupperes. Til sidst behandles de grupperede resultater statistisk, og geologiske konklusioner om magnetfeltet og bjergartens historie kan søges uddraget.



Figur 3: Palæobredden som funktion af de undersøgte bjergarters alder for tre områder i Grønland. Palæobredderne er bestemt ud fra den palæomagnetiske inklinasjon, og som man ser med nogen usikkerhed, især for de ældre bjergarter. Vi noterer med interesse, at Grønland i tidsrummet mellem ca. 1200 og 300 millioner år (1 Ga= 1000 millioner år) generelt har ligget meget nærmere ved ækvator end i nutiden. Om Grønland har ligget nord eller syd for ækvator i Prækambrium kan vi ikke bestemme udfra den magnetiske inklinasjon alene, da denne har skiftet fortegn mange gange, og vi har endnu ikke en sikkert sammenhængende polvandringskurve for området (Abrahamsen 1988).

Dipolfeltet og Pladetektonik

Til de fleste geologiske formål kan man regne med, at jordmagnetfeltet svarer til feltet fra en simpel magnetisk dipol (stangmagnet), der ligger i jordens centrum og har dipolaksen parallel med jordens rotationsakse (se Fig. 1). Et sådant magnetfelt har en veldefineret form, der kan illustreres ved forløbet af de magnetiske kraftlinjer.

Ved jordoverfladen danner feltlinjerne vinkler med jordoverfladen (den magnetiske inklinasjon), som varierer jævnt fra ækvator (hvor $I=0^\circ$) og til polerne ($I=90^\circ$). Ud fra inklinationen, der kan tænkes palæomagnetisk målt i en bjergart, kan man på simpel vis beregne den geografiske bredde for bjergarten på det tidspunkt, hvor den blev magnetiseret (hvis den da ikke er blevet tektonisk forstyrret eller remagnetiseret senere). Vi har altså et simpelt redskab til at bestemme den oprindelige palæo-bredde for bjergarten, før den evt. deltog i en pladetektonisk bevægelse (jfr. Fig. 3).

Hvis kraftlinjen danner en vinkel med meridianen i det vandrette plan (deklinationen, d.v.s. den magnetiske misvisning, som vi kender den fra et kompas), kan denne vinkel tilsvarende bruges til at fortælle os, hvordan lokaliteten siden har drejet sig i forhold til geografisk nord.

Ved at måle deklination og inklinasjon i et bjergartskompleks kan man også beregne den tilsyneladende beliggenhed af den palæomagnetiske pol, den apparente pol (den er kun tilsyneladende, for det er nok ikke jordmagnetpolen, der har flyttet sig på kloden, men snarere jordskorpen). Hvis man nu i et område har en serie af sådanne apparente poler bestemt fra en serie bjergarter dannet til forskellige tider, kan man konstruere en såkaldt apparent polvandringskurve (APV-kurven) for området.

Et skandinavisk eksempel er APV-kurven for det Fennoscandiske Skjold i tidsrummet

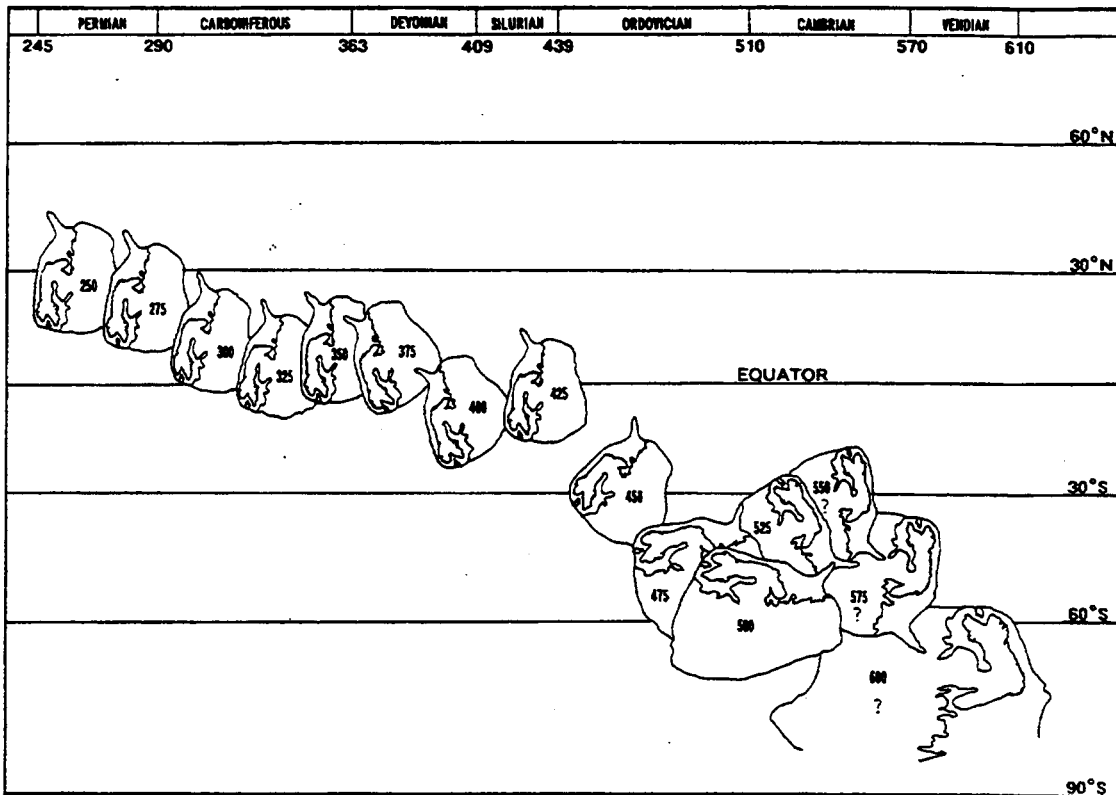
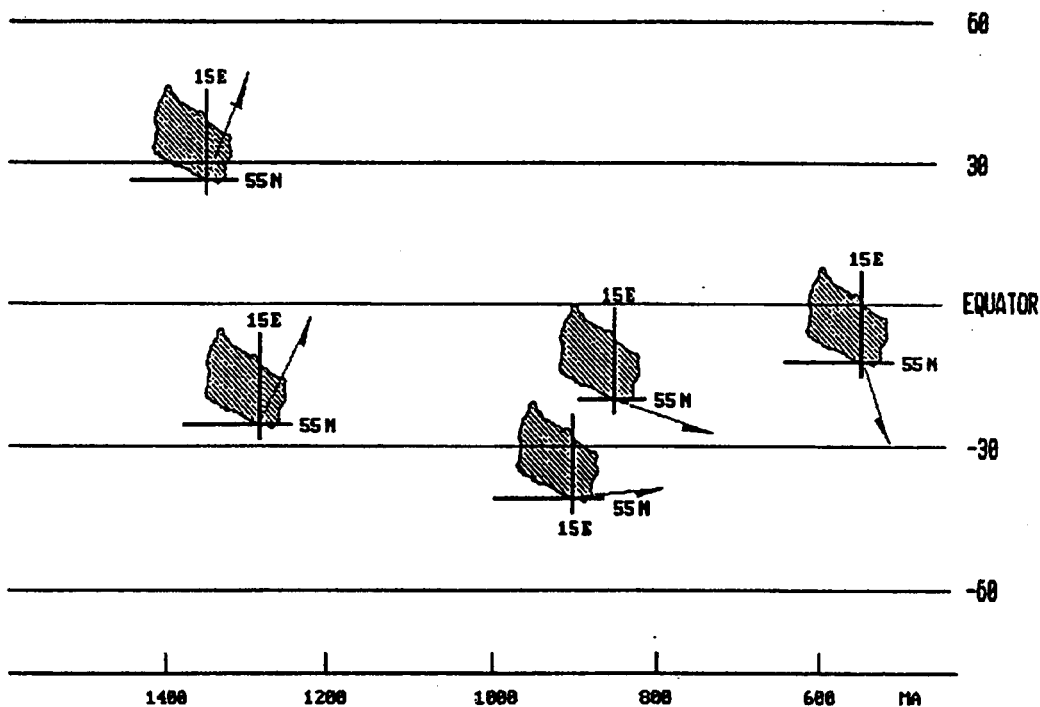
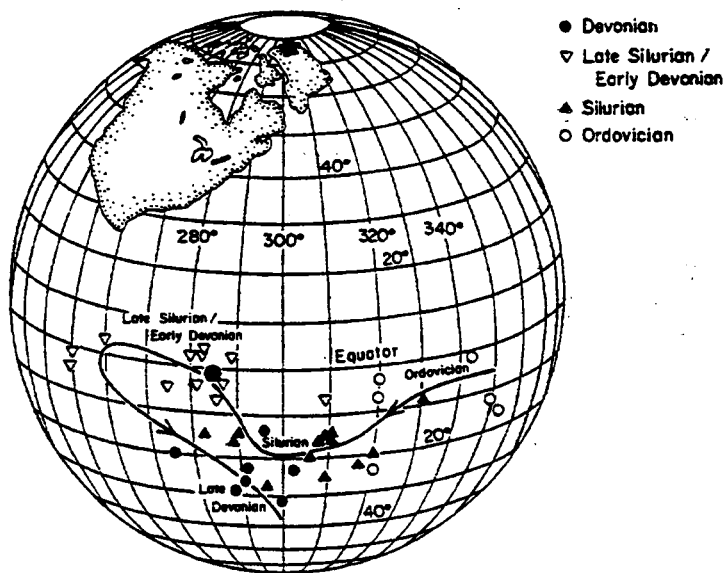


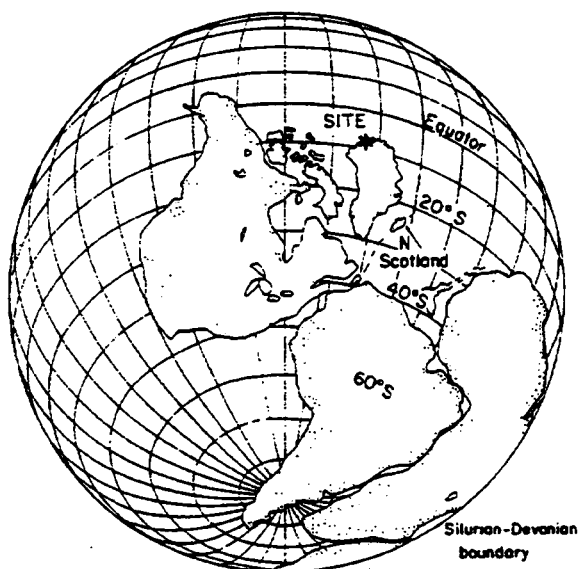
Fig. 4: Fennoskandias generelle Apparente polvandringskurve mellem 1900 og 850 millioner år. Hårnålesvingene på kurven angiver kraftige ændringer i Fennoskandia-lithosfærepladens bevægelse og orientering, som antagelig skyldes kollisioner med andre lithosfæreplader, med deraf følgende orogendannelse (Pesonen et al. 1989).



Figur 5: Fennoskandias omskiftelige geografiske placering (orientering og breddevariation) for perioden 600 til 250 Ma, som den kan deduceres ud fra de apparente polpositioner. Det fremgår bl.a. at vi før charterrejsernes æra hovedsageligt har haft et mere mediterrant, ja i perioder helt ækvatorialt klima (fra Torsvik et al. 1992).



Figur 6: Bornholms placering i Proterozoisk tid, bestemt ud fra magnetiseringen af forskellige bornholmske diabasgange. Pilene viser den daværende nordretning, så øen skal altså tænkes drejet tilsvarende. Øens størrelse er overdrevet for at kunne vise breddevariationen tydeligt (Abrahamsen & Lewandowski, upubliceret).



Figur 7a: Sen Silur palæomagnetisk pol (stor sort klat) fra Nordgrønland (stjerne), sammenlignet med den apperente polvandringskurve for Storbritannien og Irland (beregnet i nordamerikanske koordinater; Stearns et al. 1989).

Figur 7b: Palæogeografisk rekonstruktion af bl. a. Grønland, Nordamerika og Storbritannien for sen Silur/Devon tid, baseret på palæomagnetiske data fra Fig. 7a (Stearns et al. 1989).

mellem 1900 og 850 millioner år (Fig. 4), hvorfra vi nu har en betydelig mængde let tilgængelig information i kraft af de moderne databaser. Ud fra polvandringskurven kan både palæobredden og den geografiske orientering af den pågældende lithosfæreplade beregnes, som det er vist i Fig. 5, der viser Fennoskandias orientering og geografiske breddeplacering siden Arkæisk tid. Dog kan den geografiske længde ikke bestemmes ud fra de palæomagnetiske data alene, fordi magnetfeltet er rotationssymmetrisk omkring akse (jfr. Fig. 1).

Sammenligner man nu polvandringskurverne for forskellige områder, vil forskelle kurverne imellem betyde, at områderne har bevæget sig i forhold til hinanden: det klassiske bevis for kontinentaldrift (eller mere generelt lithosfæreplade-bevægelse).

Et mere lokalt eksempel på palæogeografisk placering er vist i Fig. 6. Vi har naturligvis langt færre data fra Bornholm end fra hele Fennoskandia (som Bornholm jo er en del af),

men det kan dog være interessant at overveje, hvordan bade-faciliteterne har været for en trilobit der lå ved stranden på Dueodde for ca. 600 millioner år siden, eller i hvilken retning en *Dictyonema flabelliforme* skulle have vendt sin graptolit-solfanger for at opnå maksimal indstråling en sommerdag på Balka Strand!

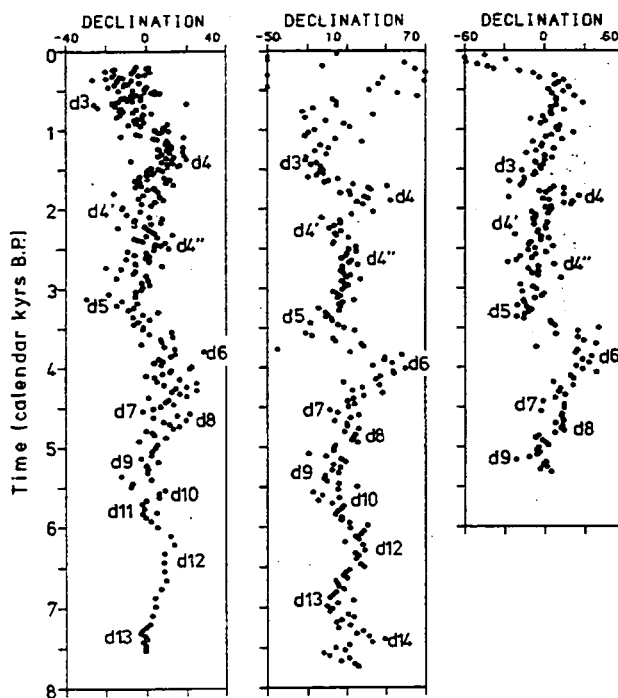
Endnu et eksempel på et geologisk bidrag til geografisk nytænkning er illustreret i Fig. 7, der viser et palæomagnetisk resultat fra Nordgrønland, en palæopol af sen Silur alder. Den grønlandske palæopol falder fint på den Europæiske apparente polvandringskurve. Vi kan derfor konkludere (se Fig. 7b), at Grønland på den tid endnu lå tæt ved Europa, samt var klappet sammen med Nordamerika, d.v.s. som situationen har set ud efter lukning af Iapetus oceanet (opfoldningen af Kaledoniderne), men før den senere åbning af såvel Nordatlanten som Baffin Bay i Kridt og tidlig Tertiær Tid.

Magnetisk Sækularvariation

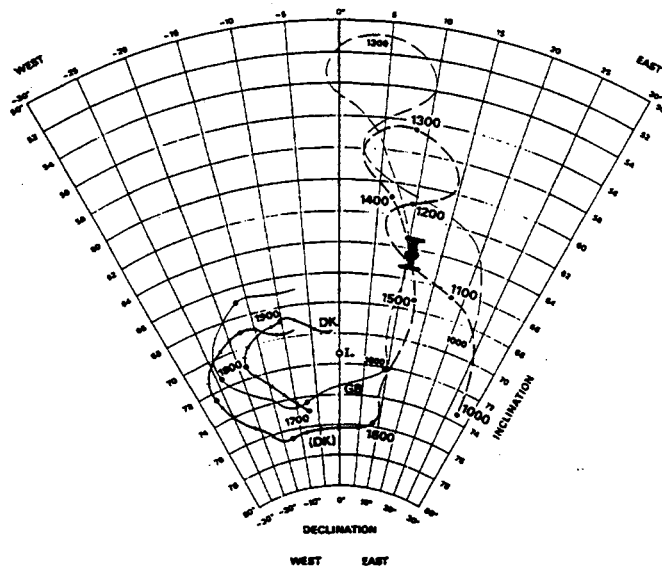
Det viser sig imidlertid, at magnetfeltet kun som et gennemsnit over mange tusind år har været aksial-symmetrisk og sammenfaldende med jordens rotationsakse. Hvis vi ser på kortere tidsintervaller (Fig. 1 viser altså kun et tænkt øjebliksbillede), varierer både deklination og inklination med tiden. De tidlige variationer i denne såkaldte sekularvariation rummer forskellige perioder på fra nogle få hundrede til nogle få tusind år.

Inklinationen svinger typisk $\oplus 10^\circ$, mens deklinationen på vore breddegrader typisk varierer $\oplus 20^\circ$ i løbet af nogle hundrede år. I de polare områder, hvor vi er tæt ved den magnetiske pol, kan deklinationen sågar dreje hele kompasset rundt. I Nordgrønland er misvisningen i disse årtier stærkt vestlig, og for steder beliggende mellem den geografiske og magnetiske pol peger kompasset mere eller mindre imod syd!

Selv om sækularvariationen er en fejlkilde ved de palæomagnetiske rekonstruktioner (hvor den søges udjævnet ved at man danner gennemsnitsretninger af bjergarter, der dækker længere tidsrum, mindst nogle snese tusind år), kan den udnyttes mere lokalt til korrelation og datering f.eks. af holocene aflejringer, der er dannet inden for nogle få tusind år.



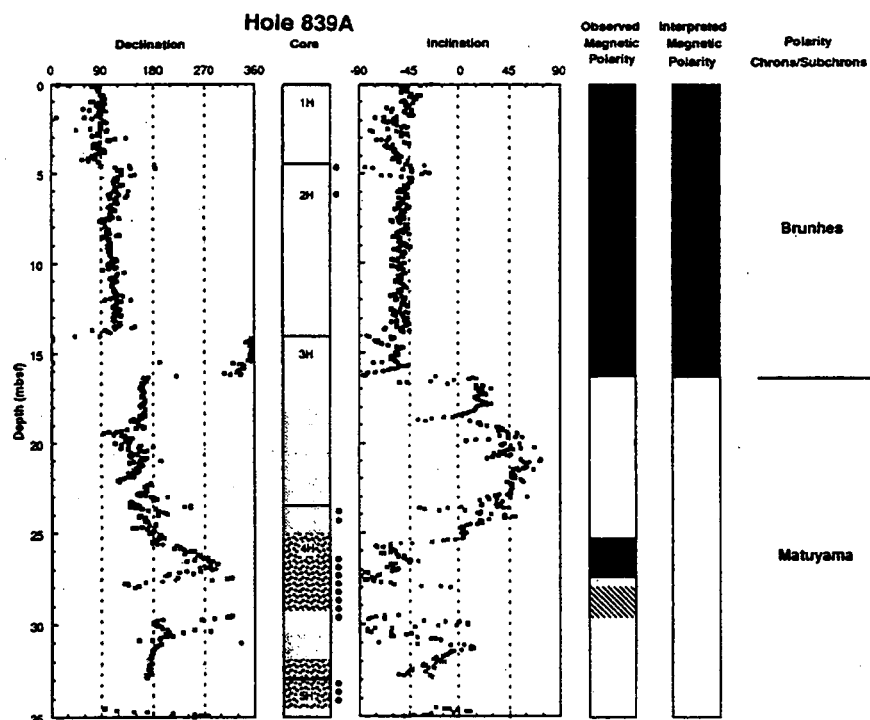
Figur 8: Deklinationen, som den er målt på orienterede, Postglaciale gytjeprøver fra Skanderborg og Sorø Sø. Kurven for Skanderborg Sø er dateret v.h.j.a. mange C14-målinger, og kan betragtes som en "deklinations-masterkurve" for det danske Holocæn. Ved hjælp af de synkron magnetiske udsving (d3, d4, d5, o.s.v.), kan den Postglaciale stratigrafi i de to søer korreleres meget nøjagtigt (Readman & Abrahamsen 1990).



Figur 9: Arkæomagnetisk datering af teglsten fra en Middelalder-tegløvn ved Rønde på Djursland. Ovnene kunne kun groft tidsfæstes via historiske overvejelser, og den magnetiske alder på ca. AD 1460 ± 50 (Inklination = 64° ± 1°) kunne dernæst indsnævre og bestyrke en af de opkastede historiske hypoteser: Ovnene har snarere været benyttet til teglbrænding ved bygningen af den nærliggende Bregne kirke (fra omkring 1480) end ved opførelsen af Kalø Slot, som er noget ældre, nemlig fra første halvdel af 13-hundredtallet (Abrahamsen & Breiner 1991).

Dette forudsætter, at man kender den magnetiske sekularvariation for det aktuelle tidsrum og for et givet regionalt område, idet variationen er forskellig fra region til region (jfr. Fig. 8, Sorø og Skanderborg Sø).

Metoden kan også bruges til arkæomagnetisk datering af arkæologiske materialer som brændte teglsten, ovne m.m., hvor materialet har ligget in situ siden brændingen, forudsat at vi kender den magnetiske masterkurve for området godt nok (Fig. 9).



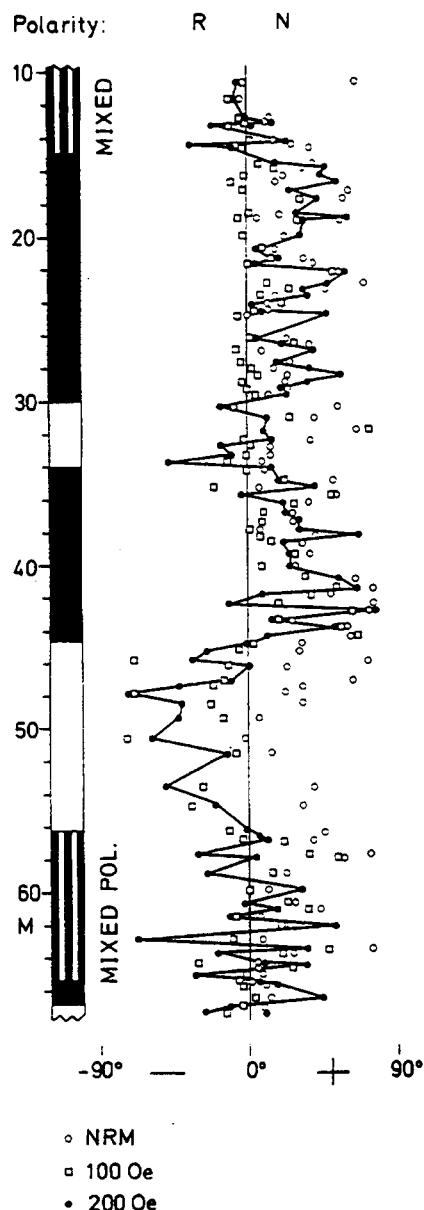
Figur 10: Magnetisk polaritetsskift målt på dybhavskærne fra det sydlige Stillehav, hentet op fra en dybde af 2.6 km i Lau Bassinet (21°S, 177°V, mellem Fiji og Tonga). Sedimentationsraten er 5.1 cm/1000 år. Magnetiske målinger er udført for hver 10 cm på sedimentkærnen, så hvert målepunkt repræsenterer ca. 2000 år. Det globale polaritetsskiftet indtræffer skarpt i kærnen ca. 16 m under havbunden d.v.s. inden for et tidsrum af ca. 2000 år. Den tilsyneladende tilstedeværelse af endnu et polaritetsskift under 25 m dybde skyldes en utilstrækkelig afmagnetisering af kærnen (ODP Leg 135). Detailundersøgelser af meget tætliggende prøver (små kuber for hver 6 mm) lige omkring polaritetsskiftet viser i øvrigt, hvordan det lokale magnetfelt gradvist skiftede retning, samtidig med at intensiteten aftog kortvarigt, som om der i geodynamoen blev slukket og igen tændt for strømmen i modsat retning (jfr. Fig. 1).

Polaritet

At jordens magnetfelt har skiftet polaritet (fortegn) mange gange tilbage i tiden er som nævnt baggrunden for de marinmagnetiske anomalier, der skyldes magnetiseringen af den nydannede oceanskorpe, og som dermed leverer hoveddaterings-metoden for ca. 70% af klodens overflade. Metoden kan dog kun benyttes for de sidste ca. 200 millioner år, fra hvilke vi har bevaret dele af de oceaniske lithosfærområder intakt. Ældre oceanskorpe er blevet destrueret ved subduktion eller evt. komprimeret i orogener.

Polaritetsskiftene kan desuden benyttes til meget nøjagtige stratigrafiske korrelationer, idet skiftet indtræffer over hele kloden i løbet af en geologisk set relativt kort tid ("transitionsperioden"), der typisk er omkring 5.000 år. De enkelte polariteters ("reversals") varighed har været meget forskellige, idet de korteste polariteter (såkaldte geomagnetiske "events") kun har været nogle få tusind år (heriblandt Laschamp/Lake Mungo (ca. 30-35.000 BP), Blake (Ca. 104-117.000 BP) og Cobb Mountain (varighed ca. 17.000 år, med alder omkring 1.12 Ma), mens meget lange perioder med konstant polaritet er kendt bl. a. fra midten af Kridttiden (en Normal periode på ca. 35 millioner år), og fra Perm (en Revers periode på ca. 70 mill. år). Alene fra Tertiæret er godt 90 (x2) polariteter kendt, hvoraf de ca. 65 er fra de sidste 35 mill. år, d.v.s har en gennemsnitlig varighed på ca. 35 mill. år.

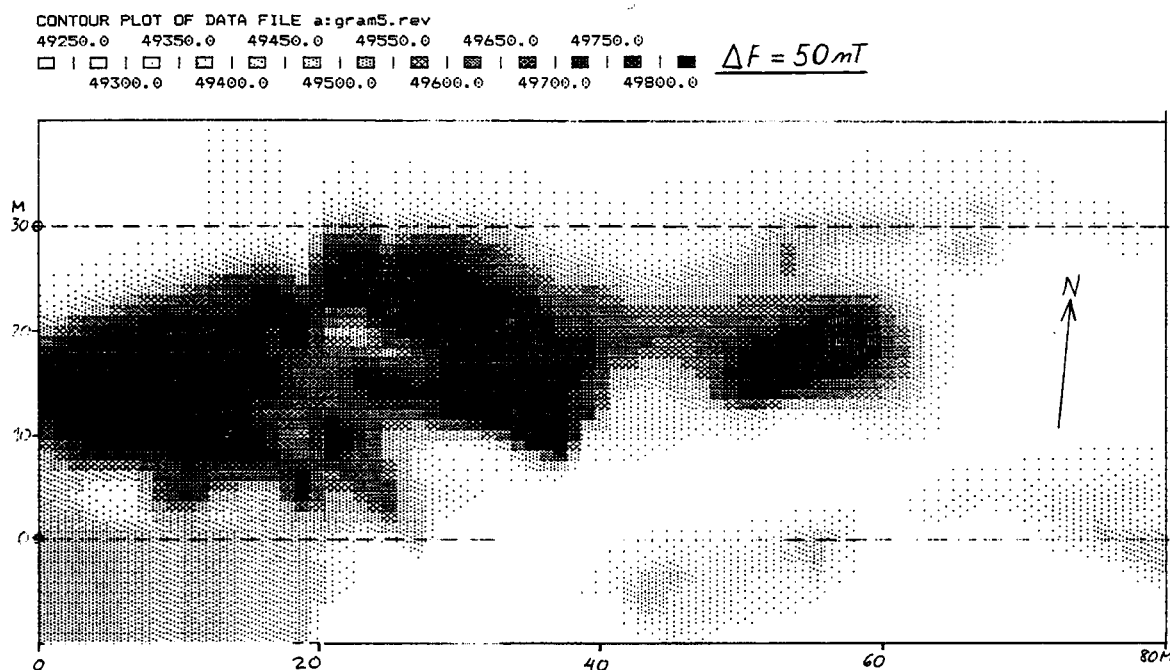
I Fig. 10 er vist et eksempel på magnetisk datering af en dybhavskærne fra det sydlige Stillehav (Lau Bassinet). I både deklination og inklinations er der et nærmest knivskarpt skift i polaritet fra Revers (hvid) til Normal (sort) polaritet. Bemærk at fortegnene i inklinations er modsatte af hvad vi er vant til nord for ækvator: På den nordlige halvkugle svarer $I > 0^\circ$ til Normal og $I < 0^\circ$ til Revers polaritet; på den sydlige halvkugle er det omvendt. Fordi den omtrentlige alder er bestemt v.h.j.a. mikrofossilerne, kan det magnetiske skift datere dette niveau entydigt til overgangen Matuyama-Brunhes, og dermed ret nøjagtigt til ca. år 730.000. Eksemplet illustrerer, hvorfor magnetostratigrafien er central ved ODP-boringerne (Ocean Drilling Programmet, det internationale projekt, som også



Figur 11. Den magnetiske polaritet, bestemt ud fra inklinations fortegn, der er målt på kærneprøver fra den øvre Oligocæne Vejle Fjord Formation, Harreboringen. I nogle intervaller er polariteten usikkert bestemt, formentlig på grund af remagnetisering efter sedimentets aflejring (Abrahamson, upubliceret).

Danmark sammen med en række andre lande deltager i), og ved andre dybhavsboringer.

Magnetostratigrafien finder også udbredt anvendelse i kontinental stratigrafi, såvel i sedimenter (f. eks. i Danmark, Fig. 11) som i plateaubasaltserier (f. eks. Grønland, Færøerne, Island m.fl.), hvor de orienterede prøver direkte kan indsamles i de eksponerede sekvenser eller udtages fra kærneboringer.



Figur 12. Magnetisk lokalisering af sløjftet deponeringsplads, beliggende i kanten af et stort grundvandsreservoir (smte-vandssand) ved Gram. Ved en efterfølgende opgravning blev tilstedeværelsen af et halvt hundrede meget stærkt korroderede 200 l jerntønder med kemisk affald konstateret (Lars Øvig, pers. medd.; Abrahamsen 1985).

Biomagnetisme

I flere og flere dyrearter, fra bakterier over reptiler, fisk og fugle, til pattedyr, er der i de seneste år blevet påvist tilstedeværelsen af kæder af små magnetiske partikler, som i hvert fald i visse tilfælde har klare navigations- eller sansemæssige formål (en sjette, eller måske syvende sans?). Således benytter visse anaerobe bakterier retningen af magnetfeltet til overlevelse ved at søge ned i iltfattigt miljø langs den lokale magnetiske kraftlinje; bakterien besidder altså et lille indbygget kompas (Kirschvink et al. 1985). At det forholder sig sådan kan let demonstreres med magnetotaktiske bakterier under et mikroskop omgivet af et par spoler, så man kan vende retningen af det lokale magnetfelt: De små væsner bevæger sig fortrinsvist i samme retning, og når man skifter strømretningen i spolerne (d.v.s. skifter polariteten i magnetfeltet), begynder de straks at bevæge sig i modsat retning. Også mus har muligvis en rudimentær magnetisk sans, som kan benyttes, hvis de normalt dominerende sanser svigter eller sættes ud af kraft (Mather & Baker 1981). Ligeledes spurve og brevduer har man undersøgt for en magnetisk sans ved hjælp af små permanente magneter fastgjort til fuglen, men disse forsøg er vanskelige at udføre, så der opnås signifikante resultater, da der er mange forstyrrende ydre elementer at tage hensyn til (se f.eks. Able & Able 1990).

At de biomagnetiske fænomener i hvert fald i forbindelse med bakterier måske spiller en rolle, også i forbindelse med sedimenters magnetiske egenskaber, fremgår af undersøgel-

ser, der viser, at singledomæne magnetitkorn (omkring 0.1 μ lange) af såvel bakteriel som ikke-bakteriel oprindelse er almindelige i visse sedimenter og soils (Petersen et al. 1986, Maher & Taylor 1988).

Miljø-magnetisme

Magnetisk detektering af skjulte deponeringspladser

I det øvrige Skandinavien er der en stærk tradition for at benytte magnetisk kortlægning til geologiske formål (se f.eks. Henkel 1991). I Danmark har magnetiske surveys p.gr.a. vores dominerende "bløde" geologi dog traditionelt ikke haft stor betydning. Magnetisk opmåling har dog været anvendt til strukturel kortlægning på Bornholm (Münther 1973, Platou 1974) og i Kattegat, og metoden bruges i udstrakt grad i Grønland (Thorning 1984) og også omkring Færøerne.

Med et estimeret antal på omkring 7000 deponeringspladser i Danmark, hvoraf hovedpartens placering er ukendt, kan magnetiske surveys blive et meget vigtigt redskab til lossepladsdetektering i de kommende år, hvor vore grundvandsreserver for alvor skal beskyttes imod forurening fra nedsivende giftstoffer, tungmetaller, olieprodukter og andet kemisk affald. Et eksempel på en sådan opmåling ved Gram i Jylland er vist i Fig. 11.

Monitering af tungmetalfordeling

Jernoxidernes (og andre tungmineralers) høje magnetiske susceptibilitet bevirker, at det er meget simpelt at monitere variationer og udbredelse i sedimenter og i vandløb af f.eks. industrielt affald, svævestøv m.m. ved at måle susceptibiliteten (Thompson & Oldfield 1986). En susceptibilitetsmåling er hurtig at udføre i felten med et lille hånd-kappameter, og kræver ikke nogen speciel præparation af materialet. Magnetisk kortlægning og kontrol af sådanne materialer i miljømæssig sammenhænge kan derfor forventes at blive et vigtigt redskab fremover i forbindelse med monitering af miljøændringer i områder med kraftig industri eller større befolkningskoncentrationer. Hvor vidt det vil få væsentlig betydning i Danmark er endnu et åbent spørgsmål.

Konklusion

Anvendelsen af de magnetiske og palæomagnetiske metoder i forbindelse med geologi, geofysik, miljøproblemer og biomagnetisme ville kunne udvides med mange flere eksempler, langt ud over den her tilmålte spaltepåside, bl.a. ved at illustrere hvordan magnetiske data kan bidrage til at afklare spørgsmål omkring magnetfeltets dannelse og dynamomekanismen i kernen, problemer omkring kulbrintedannelse og migration, sedimenters diagenese, kompaktion, metamorfose, K-Ar-dateringer og afkølingstidspunkt, samt mere lokaltektoniske problemer, der involverer blok-rotationer. Hvis der er tale om drejning omkring vertikale akser, der vanskeligt kan karteres geologisk, er palæomagnetismen et stærkt, ja måske det eneste kvantitative redskab vi har (e.g. Abrahamsen 1985b, Abrahamsen & Schönharting 1986).

Det må konkluderes, at de magnetiske metoder, der allerede har og har haft stor betydning i forbindelse med vores forståelse af jordens udviklingshistorie, også i de kommende år må forventes at vise spændende nye facetter, ikke mindst i relation til miljørelaterede problemer samt i forbindelse med det hastigt voksende biomagnetiske forskningsområde.

Litteraturhenvisninger.

Able, K.P. & Able, M.A., 1990: Calibration of the magnetic compass of a migratory bird by celestial rotation. *Nature* 347, 378-380.

Abrahamsen, N., 1985: Possible types of rotations and translations in the Scandinavian Caledonides. - *J. Geodynamics*. 2. 245-263.

Abrahamsen, N., 1987. Magnetiske målinger over Kastrup losseplads v. Gram i Sønderjylland. Upubl. Rapport, Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

Abrahamsen, N., 1988: Precambrian palaeomagnetism in Greenland. 18. Nordiske Geol. Vintermøde. Abstracts s. 4.

Abrahamsen, N., 1992: Evidence for Church orientation by magnetic compass in twelfth-century Denmark. *Archaeometry* 34, 293-303.

Abrahamsen, N. & Breiner, N., 1991: Magnetic investigation of a Mediaeval tile kiln near Kalø, Denmark. - *Archaeometry '90*. 657-666. Birkhäuser Verlag, Basel.

Abrahamsen, N. & Schönharting, G., 1986: Palaeomagnetic timing of the rotation and translation of Cyprus. - *Earth & Planet. Sci. Lett.* 81. 409-418.

Butler, R. F., 1992: *Paleomagnetism: Magnetic domains to geologic terranes*; 319 pp. Blackwell Scient. Publ. Oxford.

Cox, A., Doell, R.R. & Dalrymple, G.B., 1963: Geomagnetic polarity epochs and Pleistocene geochronometry. *Nature*, 198. 1049-151.

Henkel, H., 1991: Magnetic crustal structures in northern Fennoscandia. *Tectonophysics* 192, 57-79.

Kirschvink, J. L., Jones, D.S. & McFadden, B.J. (eds.), 1985: *Magnetite Biomineralization and Magnetoreception in Organisms* (Plenum, New York).

Maher, B. & Taylor, R.M., 1988: Formation of ultrafine-grained magnetite in soils. *Nature* 336, 368-370.

Mather, J.G. & Baker, R., 1981: Magnetic sense of direction in woodmice for route-based navigation. *Nature* 291, 152-155.

Merrill, R.T. & McElhinny, M. W., 1983: *The Earth's Magnetic Field*. Academic Press. 401 pp.

Münther, V., 1973: Dominerende forkastningszoner på Bornholm. *Danmarks Geol. Unders.* II række nr. 85, 161pp + Tavler.

ODP Leg 135, 1992: Initial Reports (Lau Basin), Parson, L.M., Hawkins, J.W. & Allan, J.F. et al. 1230 pp.

Tarling, D. H., 1983: Palaeomagnetism. Principles and applications in geology, geophysics and archaeology; 379 pp. Chapman and Hall, London.

Thompson, R. & Oldfield, F. 1986: Environmental Magnetism (Allen & Unwin, London).

Pesonen, L.J., Torsvik, T.H., Elming, S.-Å. and Bylund, G., 1989: Crustal evolution of Fennoscandia - palaeomagnetic constraints. - *Tectonophysics*. 162. 27-49.

Phillips, J.B. & S.C. Borland, 1992: Behavioural evidence for use of a light-dependent magnetoreception mechanism by a vertebrate. *Nature* 359, 142-144.

Platou, S.W., 1974: The relations between magnetic properties and magnetic anomalies. *Geol. Fören. Stockholm Förhandl.* 96, 253-260.

Petersen, N., von Dobeneck, T. & Vali, H., 1986: Fossil bacterial magnetite in deep-sea sediments from the South Atlantic Ocean. *Nature* 320, 611-615.

Readman, P. W. & Abrahamsen, N., 1990: Geomagnetic secular variation from Holocene lake sediments of Sorø Sø, Denmark. - *Phys. Earth. Planet. Interiors*. 62. 4-18.

Schönharting, G. & Abrahamsen, N., 1984: Magnetic investigations on cores from the Lopra-1 drillhole, Faeroe Islands, 109-114. - In: Berthelsen, O., Noe-Nygaard, A. & Rasmussen J. (eds.), *The Deep Drilling Project 1980-81 in the Faeroe Islands. Annales Societatis Scientiarum Faeroensis. Supplementum IX.* 158 pp.

Schönharting, G. & Abrahamsen, N., 1989: Paleomagnetism of the volcanic sequence in Hole 642E, ODP Leg 104, Vøring Plateau, and correlation with early Tertiary basalts in the North Atlantic. - In: Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E., et al.: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results.* vol. 104. 911-920.

Stearns, C., Van der Voo, R. & Abrahamsen, N., 1989: A new Siluro-Devonian paleopole from early Paleozoic rocks of the northern Greenland Fold Belt. - *J. Geophys. Res.* 94. 10 669 - 10 683.

Thorning, L., 1984: Aeromagnetic maps of parts of southern and central West Greenland: acquisition, compilation and general analysis of data. *Geol. Survey of Greenland, Reports* 122, 36 p.

Torsvik, T. H., Smethurst, M.A., Van der Voo, R., Trench, A., Abrahamsen, N. & Halvorsen, E. 1992: Baltica. A synopsis of Vendian-Permian palaeomagnetic data and their palaeotectonic implications. *Earth-Science Reviews* 33, 133-152.

Vine, F.J. & Matthews, D.H. 1963: Magnetic anomalies over ocean ridges. - *Nature*. 199. 947-949.

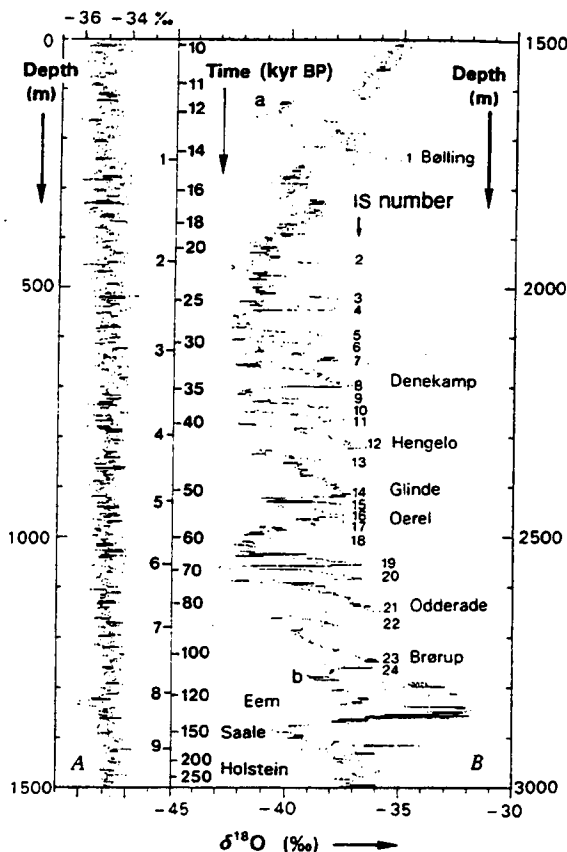
THE OXYGEN ISOTOPE RECORD FROM THE GRIP ICE CORE

W. Dansgaard, H.B. Clausen, N.Gundestrup, S.J. Johnsen and H. Tauber

University of Copenhagen, Geophysical Department, Haraldsgade 6, DK-2200 Copenhagen.

A 3029 m long deep ice core to bedrock was drilled 1990-1992 at the very top of the Greenland ice sheet (Summit) under the Greenland Ice-core Project (GRIP), an international European joint effort organized by the European Science Foundation. The ice core reaches back to 250 kyr B.P. according to dating based partly on stratigraphic methods and partly on ice flow modelling.

In Fig. 1 two sections of a continuous stable isotope ($\delta^{18}\text{O}$) profile are plotted on a linear depth scale, and separated by a non-linear time-scale. Prior to 11 kyr B.P. the record is dominated by irregular shifts reflecting temperature changes of 5 to 10°C (1 ‰ increase in δ corresponds to a 1.5°C warming). The shifts apparently happened within a century, sometimes within a decade, under glacial as well as interglacial conditions. This is also reflected in several other parameters of climatic significance measures along the ice core. The glacial interstadials (IS) of longest duration are tentatively reconciled with European pollen horizons.



In Fig. 2C the δ record is presented on a linear time-scale for comparison with three other marine and continental records spanning the last two glacial cycles. The short-term features cannot be explained by the Milankovitch theory. In North Atlantic glacial sediments they appear clearly in spectra of foraminifera species, but not in isotope records (cf. Fig. 2B) due to the slow response of the continental ice volume to climatic changes. Nor do they occur in Antarctic ice cores (cf. Fig. 2D), which suggests that we are faced with a North Atlantic phenomenon.

Fig. 1. The continuous GRIP Summit $\delta^{18}\text{O}$ record plotted on a linear depth-scale in two sections separated by a time-scale. Each point represents 2.2 m of core increment. The glacial interstadials (IS) of longest duration have been reconciled tentatively with European pollen horizons.

According to Fig. 1, the Greenland climate has been exceptionally stable in the Holocene, but the Eem interglacial elapsed quite differently, from 133 to 114 kyr B.P. according to our time scale (Fig. 3). In Greenland, Eem was characterized by three states: (1) A very warm one, 5°C warmer than at present; (2) a state approximately as warm as Holocene; and (3) a state at least 3°C cooler than Holocene, corresponding to temperatures during glacial interstadials.

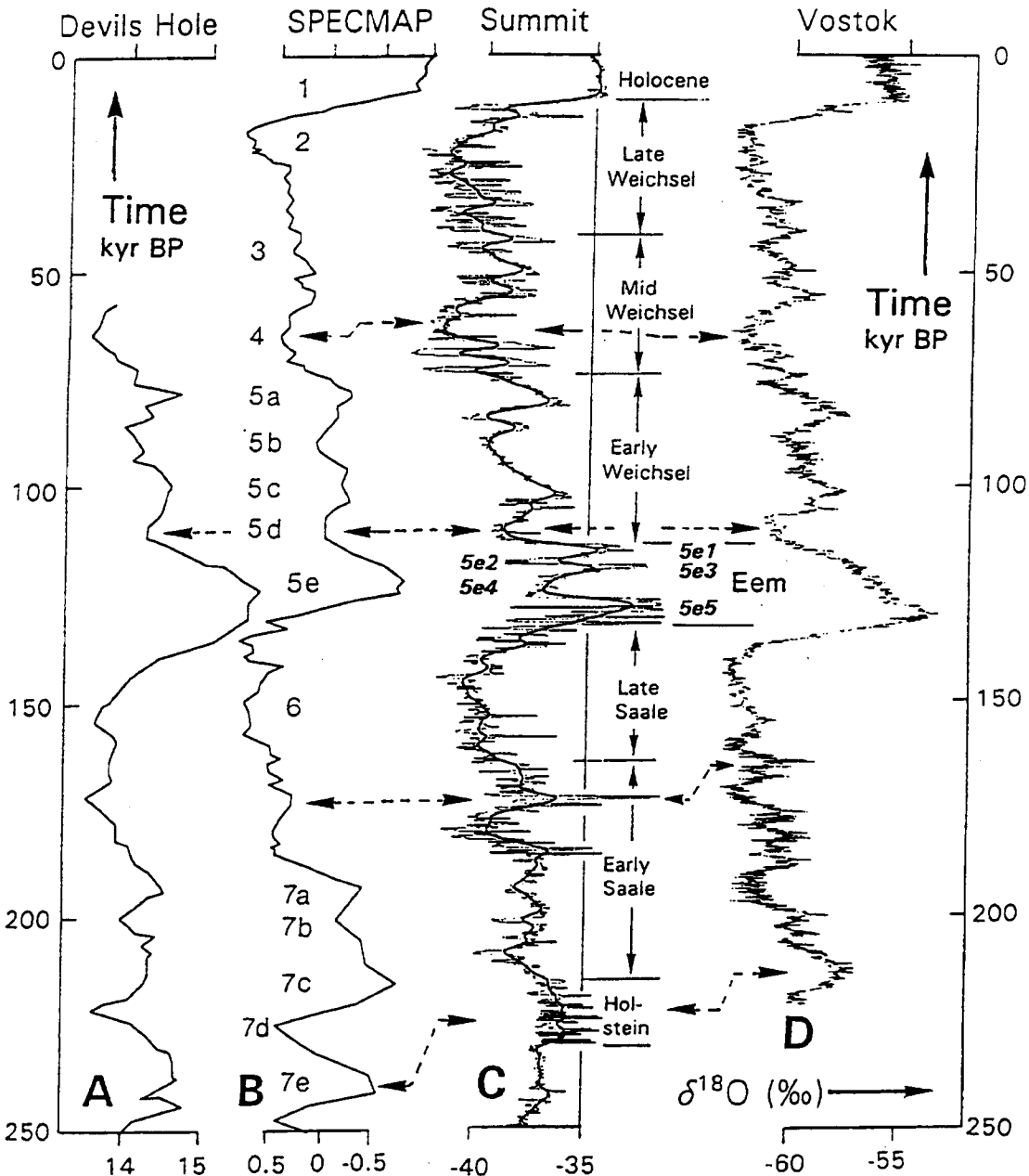


Fig. 2. Four climate records spanning the last two glacial cycles.

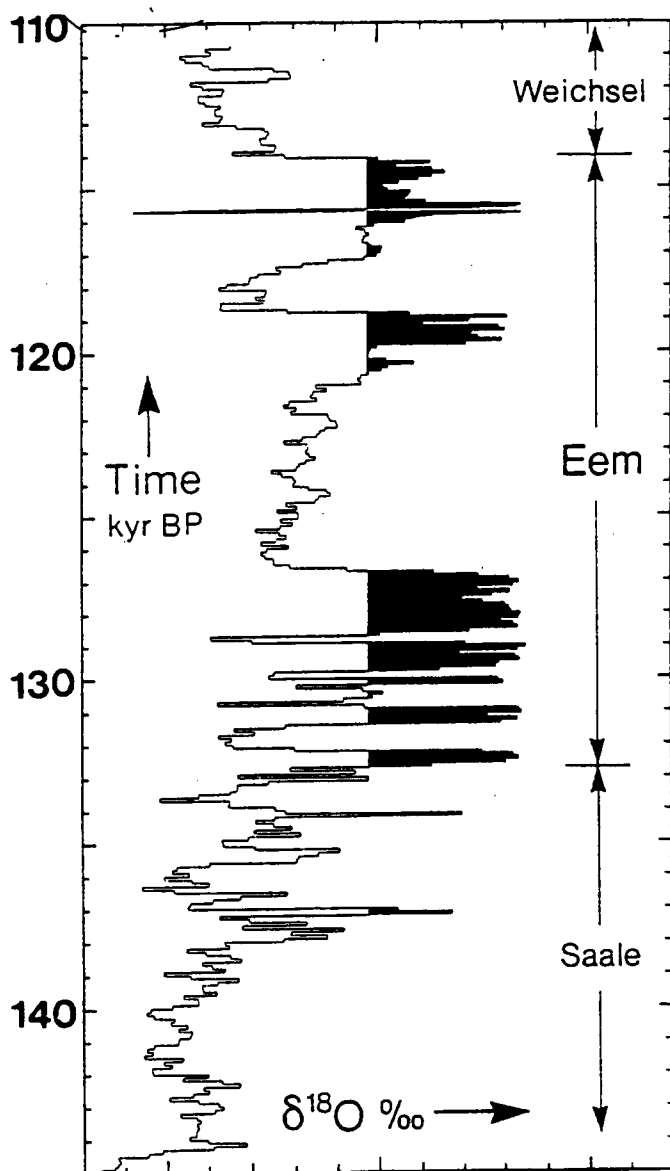
A: $\delta^{18}\text{O}$ variations in vein calcite from Devils Hole, Nevada. Dating: U/Th.

B: The SPECMAP standard curve with marine isotope stages. Dating: orbital tuning.

C: $\delta^{18}\text{O}$ record along the upper 2982 m of the GRIP Summit ice core. Each point generally represents a 100 yr mean value. The heavy curve is smoothed by a 2500 yr Gaussian low pass filter. Dating by counting annual layers to 14.5 kyr B.P., and beyond that by ice flow modelling. The line shows the Holocene mean δ value.

D: $\delta^{18}\text{O}$ record from Vostok, East Antarctica. Dating by ice flow modelling.

Fig. 3a-3b suggests that states (1) and (3) each spanned some 45 % of Eem. Despite the nearly ideal deposition and ice flow patterns at Summit, it cannot be excluded, however, that the strongly varying rigidity of the Eemian deposits has caused a change of the thickness ratio between layers of high to low δ (boudinage effect). But, the very instability of Eemian climate in Greenland, and the broad outline of the time scale can hardly be questioned (cf. for example the correlation with the independently dated δ record from Devils Hole, Nevada, in Fig. 2A.). Verification of the time scale and the ‰ features is being looked for in the American GISP-2 deep ice core drilled 30 km west of Summit.



The instability of the Greenland climate shows that the atmosphere/ocean circulation pattern in the North Atlantic region is able to shift and reorganize quickly perhaps due to random forcing. In contrast to the Summit record, European pollen records reflect a stable Eemian climate. The explanation may be found by detailed studies of Eemian ocean sediments from the North Atlantic Ocean and the Norwegian Sea. Possible changes in the formation of deep sea water, the direction and intensity of the Gulf Stream and the East Greenland current, and repeated surging of the West Antarctic ice sheet, in glacial times also of northern hemisphere ice sheets, are all factors that have to be accounted for in future climate modelling.

References are listed in W. Dansgaard et al.: *Nature*, Vol.364, p. 218-220, 1993, and in GRIP Members: *Nature*, Vol. 364, p. 203-207, 1993.

Fig. 3a. $\delta^{18}\text{O}$ record through the Eemian interglacial plotted on a time scale calculated by ice flow modelling. -values higher than at present are set out in black. The last Eemian cold spell lasted apparently only 70 yrs, and reached full glacial severity. The relative thickness of the high and low layers may have been changed by the boudinage effect.

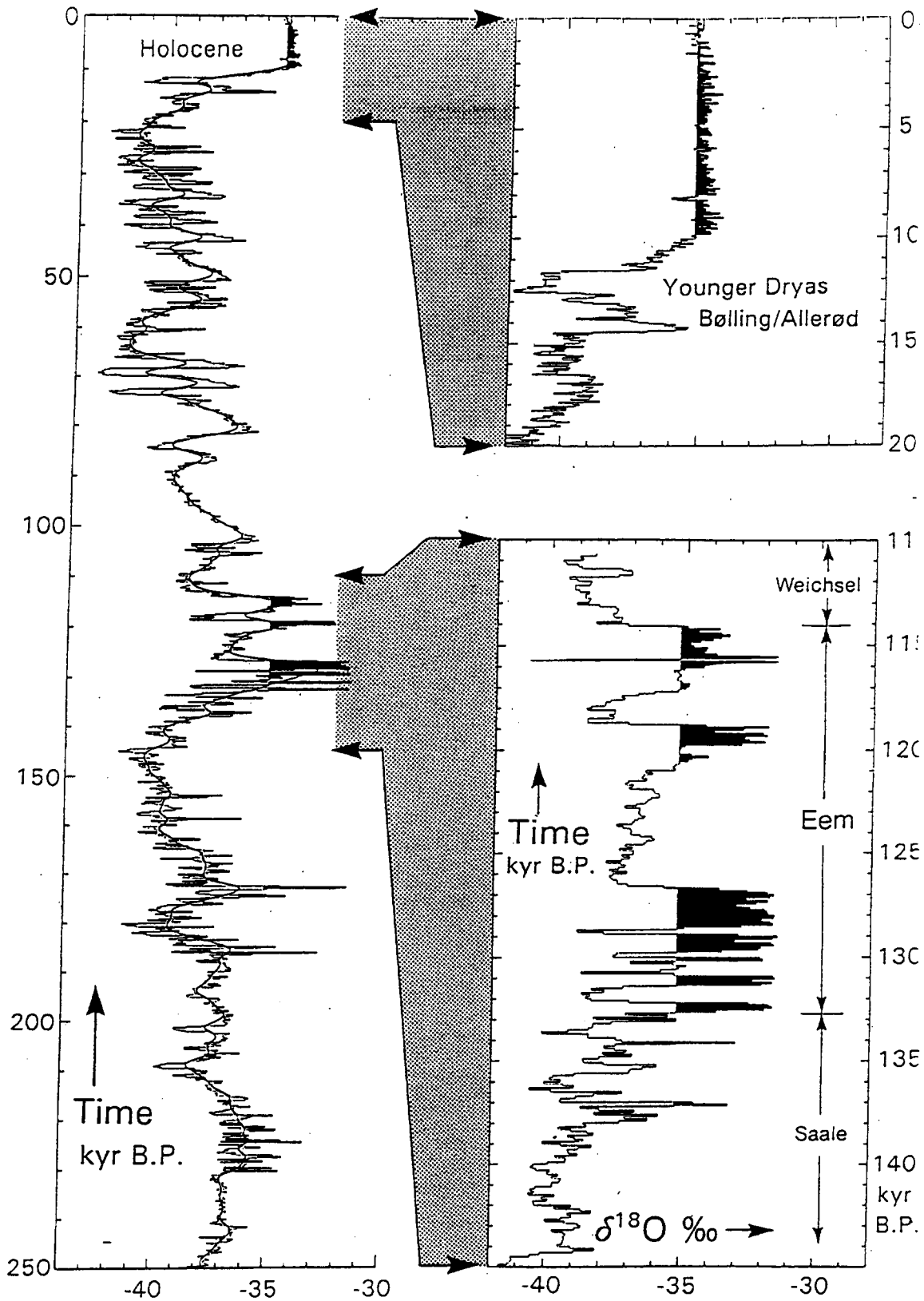


Fig. 3b. $\delta^{18}\text{O}$ record through the Eemian interglacial plotted on a time scale calculated by ice flow modelling. -values higher than at present are set out in black. The last Eemian cold spell lasted apparently only 70 yrs, and reached full glacial severity. The relative thickness of the high and low layers may have been changed by the boudinage effect.

TOSTRUP SALTDOME - EN GEOLOGISK MODEL OG ET NATURGASLAGER

Fritz Lyngsie Jacobsen og Bjarne Leth Nielsen

Indledning:

Naturgaslageret i Tostrup saltdomen i Ll. Torup i Himmerland er et eksempel på et vellykket integreret geologisk - geofysisk forsknings- og udviklingsarbejde, udført i forbindelse med opbygningen af Dansk Olie og Naturgas's underjordiske gaslager.

Forstudierne til gaslageret begyndte i 1977, hvor der på Forsøgsanlæg Risø blev nedsat en arbejdsgruppe med det formål at undersøge mulighederne for at etablere den nødvendige gaslagerkapacitet i Danmark. Udvalgets arbejde afsluttedes i 1979, samme år som Folketinget besluttede, at naturgas skulle indføres som en væsentlig del af den danske energiforsyning.

Underjordiske gaslagre indgår som en naturlig del af et overordnet naturgassystem, og lagrenes funktion er dels at udjævne årstidsvariationer i forbruget og dels at sikre leveransererne til gaskunderne i tilfælde af forsyningssvigt fra produktionsområderne. Risøgruppen pegede på muligheden for et akviferlager på Sjælland eller et lager i en af saltdomerne i det nordlige Jylland. Sidstnævnte mulighed blev valgt som den bedste løsning i opbygningsfa-

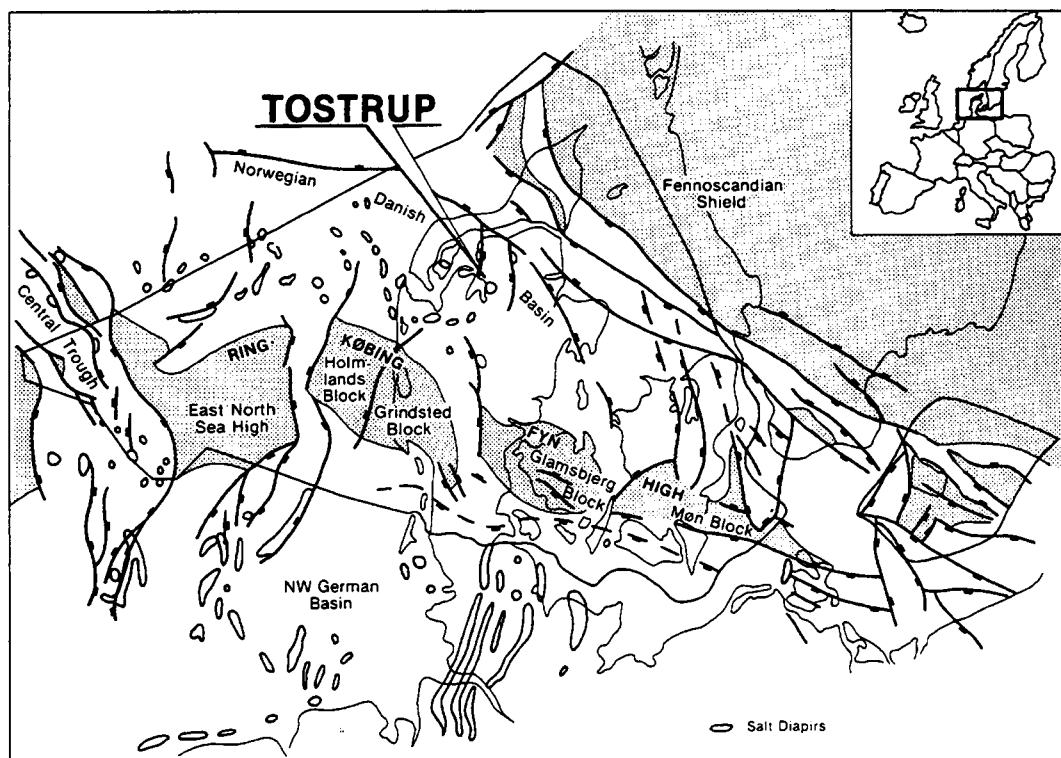


Fig. 1. Kort der gengiver de dominerende undergrundsstrukturer i det danske område samt placeringen af Tostrup saltdome.

sen af gassystemet. Geologerne havde allerede på dette tidspunkt kendskab til Tostup dom, og man skønnede umiddelbart, at det var muligt at etablere et kavernelager her.

Nedenstående vil vi belyse, hvordan de geologiske og geofysiske aktiviteter, i takt med den stigende information fra borerne, første frem til en forståelse af domens indre og ydre struktur, en forståelse som blev optimalt udnyttet i forbindelsen med placeringen af borerne og den efterfølgende opbygning af gaslageret. Resultaterne har tidligere været fremlagt ved det 7.-ende International Salt Symposium i Kyoto 1992 .

Lageranlægget består i dag af 6 ibrugtagne kaverne med et samlet udskyllet volumen på 2.6 mio m³. En syvende kaverne er under udskyldning. Lageret indeholder, når det er fyldt ca. 500 mio m³ naturgas, hvoraf de 300 mio m³ klassificeres som arbejdsvolumen.

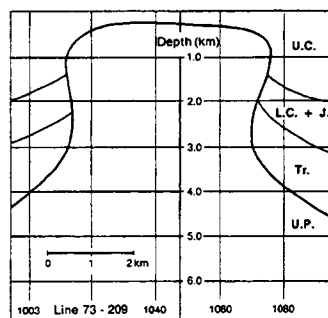
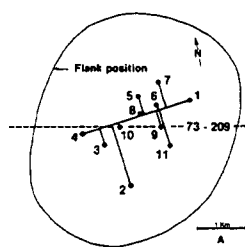


Fig. 2. Tostrup salt dome. A. Placering af de enkelte Tostrup borer. Nummeringen er foretaget i kronologisk orden. Profilet 4 til 1 ses på fig. 3. Omkredsen svarer til kote - 1500 m. B. Unit gennem domens langs den seismiske linie 73-209. U.C.: Øvre kridt, L.C. + J.: Nedre kridt og jura, Tr.: Trias og U.P.: Øvre perm.

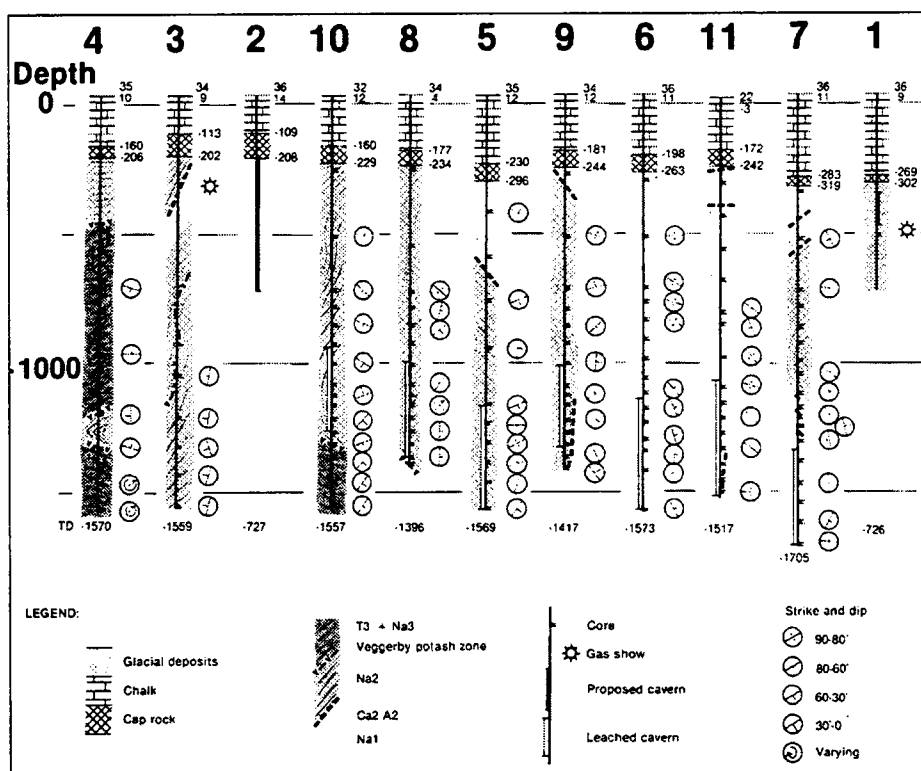


Fig. 3. Profilet 4 til 1 med de 11 Tostrup borer. De forskellige salttyper er vist sammen med strygning og hældning i de enkelte kerner. Koter er angivet i m.

Geologisk baggrund:

De permiske salte, der danner saltstrukturerne i det Dansk Norske Bassin, er oprindeligt 1 - 1.5 km tykke. De er opbygget af 4 inddampningscykler, Z1 - Z4, hvoraf de to første indeholder de største mængtigheder af ren stensalt, Na1 og Na2. Saltprovinser blev påvist gravimetrisk i perioden 1938 - 1940 og ved boringer i de enkelte saltdomer i perioden 1946 - 1952. Danish American Prospecting Co. (DAPCO) udførte i alt 38 dybe boringer i denne periode. DAPCO's boringer danner, sammen med 4 boringer fra kaliprospekteringsperioden 1959 - 1961, grundlaget for den stratigrafiske inddeling af Zechsteinsaltet i den danske del af permiebassinet. Den stratigrafiske korrelation til de nordtyske permsalte blev stærkt forbedret efter udførelsen af en række dybe efterforskningsboringer i Nordsøen og i Nordjylland i perioden 1966 - 1981.

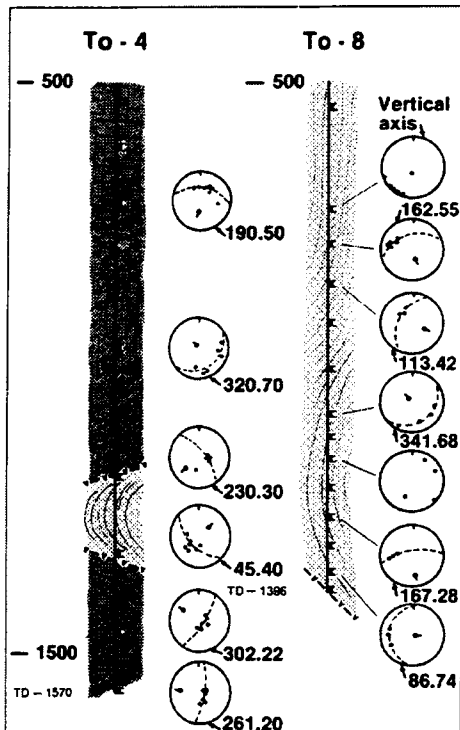


Fig. 5. Eksempler på Wulff's net analyser på lodrette sektioner af boringerne To-4 og To-8. De stereografiske projektioner viser foliationerne og de konstruerede foldningsaksler i Z3 salt i boring To-4 og i Z2 salt i boring To-8.



Fig. 4. Stensalt kernestykke med monteret strygning og hældnings udstyr. Azimut ringen er anbragt omkring kernen og aflæses i forhold til orienteringsridsen, der indgraves under kernetagningen. Måling af hældningen foretages med vinkelmåler i relation til kernens side. Boring To-11, kerne nr. 12, 1365,36 - 1365,76 m under den roterende boreplade (rotary table).

Tostrup salt dome:

Tostrup domen var blevet anboret allerede i 1951 med boringerne To-1 og To-2, og disse boringer dannede, sammen med et eksisterende tyngdeanomalikort fra 1974, den nødvendige baggrundsviden for beslutningen om at igangsætte efterforskningsarbejdet i netop denne salt dome. I forbindelse med en forundersøgelserfase bores To-3 i 1978 bl.a. for at skaffe kernemateriale til bjergartsmekaniske undersøgelser og til foreløbige opløsningsstudier på saltet. I 1979 bores To-4 og i 1980 To-5, -6 og -7 som de første kaverneboringer. To-8, -9 og -10 blev boret i 1981, og borekampagnen er foreløbigt afsluttet med To-11, som blev boret i 1987. På nær To-4 er alle disse boringer blevet erklæret velegnede til udskyldning af kaverne.

Cyklus	Symbol	Tykkelse i m	Lithologi
Z4	Na4	20	Stensalt, lyst gråt til orange
	T4	30-40	Saltler, siltholdigt, oliven brunt til gråsort
Z3	Na3	ca. 100	Stensalt, rødligt broget med to tynde lag af K-Mg-salte og et tyndt lag af anhydrit
	T3	60	Saltler, siltholdigt, rødt, grønt og grønlig sort
Z2	Na2r	15	Stensalt, siltholdigt, brunligt med K-Mg-salte
	K2	10	Hårdtsalt, kieseritholdigt; Veggerby kalizone
	Na2(K)	20	Stensalt, kali- og kieseritholdigt, orange
	Na2	ca. 600	Stensalt, anhydritholdigt, lyst til gråt
	A2	4	Anhydrit med flaser tekstur
	Ca2	10	Dolomit, lys til mørk brun
	T2	0.2	Skiffer, brunlig sort
Z1	Alr	1	Anhydrit, tæt, blålig grå
	Na1	ca. 400	Stensalt, anhydritholdigt, lyst til gråt

I denne afhandling er Ca2 Na2 benyttet som en samlebetegnelse for bjergartssekvensen Alr, T2, Ca2 og A2. De benyttede cyklus og symbol tegn er fra Richter-Bernburg (1953).

Eksempler på typiske saltanalyser foretaget på kernestykker fra følgende kavernedybder i To-6.

To-6 Dybde	Kemisk analyser i %'er									Mineralsammensætning beregnet		
	m b. R.T.*	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	Uopl.	H ₂ O	Sum	NaCl	CaSO ₄
1156.8	38.0	0.01	0.50	0.00	59.8	1.24	0.15	0.03	99.7	98.1	1.7	0.2
1212.1	37.0	0.01	1.28	0.00	58.6	3.22	0.10	0.15	100.4	95.5	4.4	0.1
1269.7	38.0	0.01	0.26	0.00	60.6	0.63	0.11	0.05	99.7	99.0	0.9	0.1
1338.5	39.0	0.01	0.63	0.00	59.6	1.07	0.09	0.00	100.4	98.4	1.5	0.1
1380.2	38.0	0.01	0.95	0.01	59.3	2.10	0.14	0.00	100.5	96.9	3.0	0.1
1461.8	38.0	0.01	0.63	0.00	59.7	1.46	0.14	0.05	100.5	97.8	2.1	0.1

* m under boreplade

Dataindsamling:

I hver boring er der skåret ca. 15 kerner, hvoraf halvdelen er azimutorienterede. Umiddelbart efter en kerne var udtaget fra kernerøret, blev den rensset, fotograferet og beskrevet, og orienteringen af lagplaner og foliation blev opmålt. Der blev herefter udtaget repræsentative prøver til bjergartsmekaniske analyser, kemiske analyser og udskyldningsforsøg. I det forventede kaverneinterval, 1100 - 1500 m under terræn, er afstanden mellem kernerne ca. 50 m, medens afstanden er ca. 150 m i intervallet fra toppen af saltet (saltspejlet) til toppen af kaverneområdet (300 - 1100 m). Strygnings- og hældningsmålinger på lagplaner og foliation blev målt relativt til en markeringsfure på langs af kernen med kendt azimut. Der er ikke foretaget korrektion i målingerne som følge af borerne afvigerlser fra lodret. Afvigelse herfra har i alle tilfælde været mindre end 1.5°.

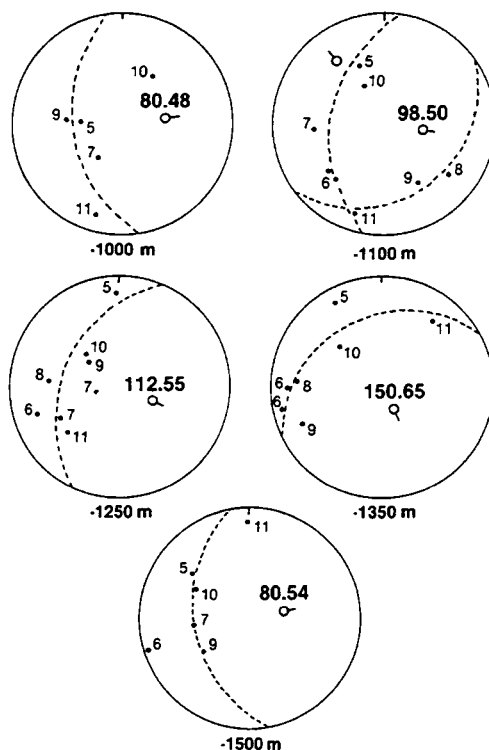


Fig. 6. Wulff's net analyser af foliationsmålingerne og konstruktion af foldningsakserne i 5 forskellige dybder i kaverne området. Den typiske hældning af akserne er mod øst og sydøst. De angivne numre referer til de enkelte borerne (f.eks. 11) eller til foldningsaksernes retning og hældning (f.eks. 80.48).

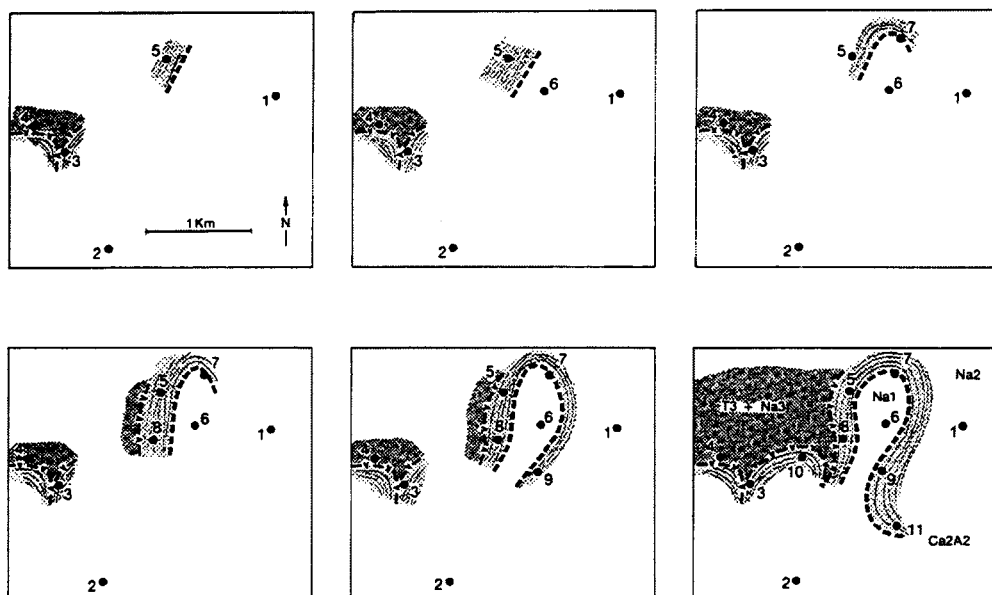
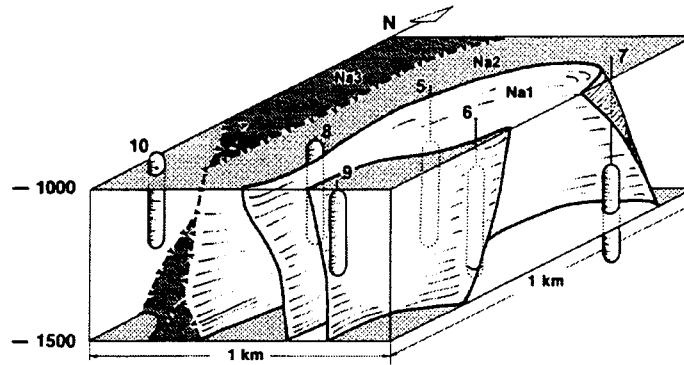


Fig. 7. Tegneserie, der viser den gradvist forøgede viden om den geologiske model efterhånden som borekampagnen skred fremad. Niveau: Kote -1250 m.

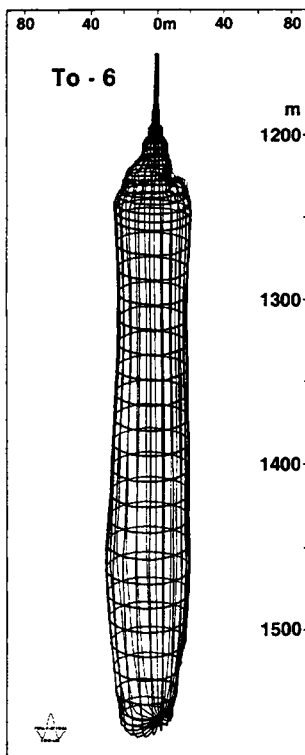
Fig. 8. Strukturel model af kaverne området. Mod øst kan en antiklinal med Na1 og kaverne nr. 6 i sin kerne ses. Vest for denne antiklinal findes en synklinal med boring To-10 placeret i Na2. Placeringen af borerne eller kaverne er i blokdiagrammet vist med en prik.



Tolkning af strukturelle data:

Saltets foliation antages at repræsentere den seneste plastiske deformation af saltet. I enkelte tilfælde, hvor en egentlig lagdeling har været synlig i saltet, har denne været parallel eller subparallel med foliationen. Dette er i overensstemmelse med Talbot (1979), der beskriver, hvordan salt under progressiv flydning i en saltgletscher opnår stigende parallelitet mellem lagplaner og deformationsplaner. Den synlige, men ofte diffuse, lagdeling i det danske stensalt, ses som svage farveanomalier på grund af et varierende indhold af lermi-neraler eller anhydrit.

Ved den strukturelle analyse er de opmålte foliationsplaner benyttet til konstruktion af foldeakser (Wulff's net konstruktion på nedre hemisfære). De enkelte kerner konstruerede foldeakser er blevet sammenstillet dels vertikalt for hver boring og dels horisontalt i udvalgte dybdeflader i domnen. Som resultat af denne tredimensionelle tolkning var det muligt at forudsige foldningsakserne i hele saltmassen mellem basis af cap rock og niveauet for borerne slutdybder.



Den strukturelle tolkningprocess blev anvendt løbende under borekampagnerne, og den var grundlaget for placeringen af hver af de efterfølgende borer. Efter gennemførelsen af To-3, To-4 og To-5 stod det således klart, at de rene stensalte fra Z1 og Z2 skulle søges længere mod øst, medens

Fig. 9. Kavernen To-6 er med en højde på 429 m, en diameter på 55 m og et volumen på 520.000m³ en af de største kaverne i Europa og samtidig et eksempel på en perfekt udskylning. Figuren viser den 3-dimensionelle opmåling udført med sonar.

K2 zonen, der er uegnet til kavernekonstruktion findes mod vest. Det høje indhold og den uregelmæssige fordeling af letopløseligt kieserit, sylvin og carnallit gør udskyldningsprocessen ukontrollabel, i denne kalizone.

To-6 viste klart berettigelsen af denne antagelse. Den blev boret i rent Na1 salt fra top til bund. Den efterfølgende To-7 viste til gengæld et andet problem, som eksisterer i den danske saltprovins, nemlig tilstedeværelsen af den ca. 15 m tykke anhydrit-dolomitzone, Ca2A2 i bunden af Z2 indampningsserien. Bjergarterne i Ca2A2 er ikke kun lidet opløselige, hvilket udelukker kavernekonstruktion, men de har også en høj deformationskompetence i forhold til stensalt. Sidstnævnte medfører, at anhydrit-dolomitzonen boudineres under halokinesen, således at forekomsten i Na1 - Na2 saltet bliver vanskeligt forudsigeligt. To-7 måtte bores betydeligt dybere end de øvrige brønde, således at kavernen kunne placeres i passende afstand under den boudinerede anhydrit -dolomitzone, som blev gennemboret i ca. 1150 m. Tegneserien på figuren viser litologien i 1250 m under det fremafskridende boreforløb. I To-8 anbores Veggerby Kalizone i ca 1400 m, umiddelbart under det valgte kaverneniveau, og boreresultatet bekræftede således forudsigelserne fra To-5. To-9 blev boret i nærheden af anhydrit - dolomitzonen, hvilket blev bekræftet under udskyldningen af kavernen. Blokke af anhydrit-dolomit dukkede op i kavernens væg, men brækkede løs og faldt til bunds i kavernen under den fortsatte udskyldning. To-10 kavernen måtte placeres højt på grund af tilstedeværelsen af Veggerby Kalizone i bunden af boringen. Den sidste kaverne i To-11 er under udskyldning. Boringen ligger som To-9 i nærheden af anhydrit - dolomitzonen, men indtil nu er blokke fra den boudinerede zone ikke antruffet.

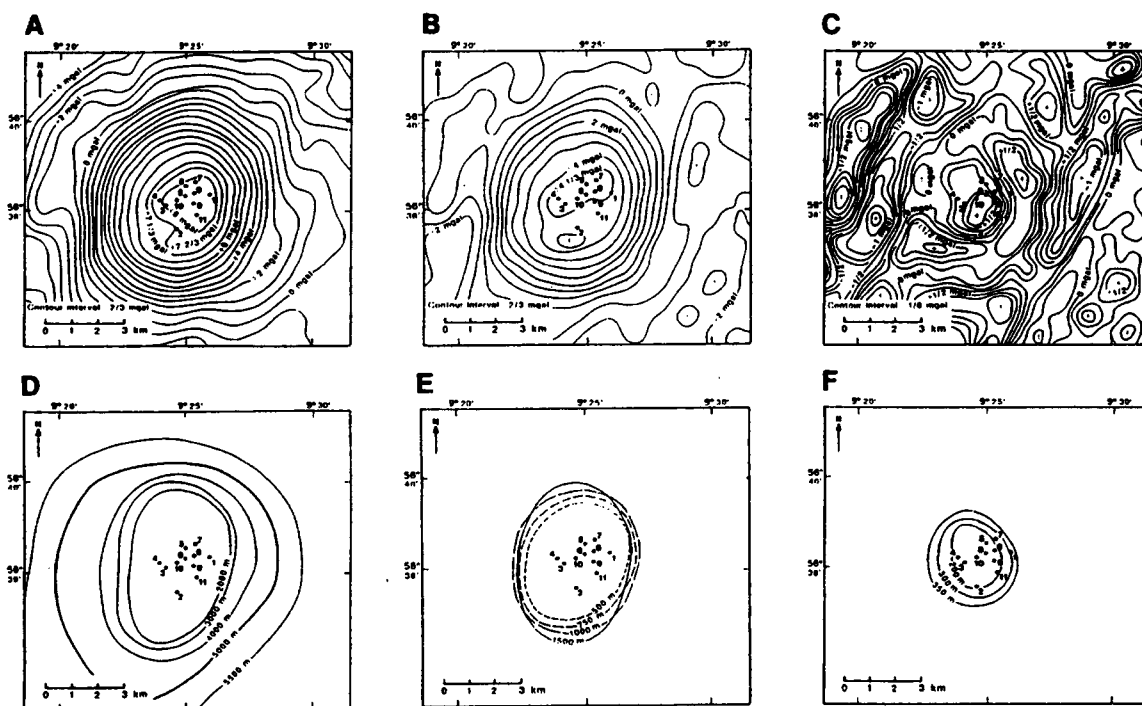


Fig. 10. Kort med resultaterne af de gravimetriske målinger over Tostrup salt dome. A: Bouguer anomalikort, B. Residual Bouguer anomalikort med variation mindre end 20 km, C: Residual Bouguer anomalikort med variation mindre end 6 km og D: Dybde til cap rock efter Bouguer residual anomalikort.

På grundlag af den strukturelle analyse og data, indsamlet under udskyldningen, har det været muligt at konstruere en rumlig model af saltene i kaverneområdet. En antyklinal, åben mod syd og med en østsydøstlig hældende foldningsakse, ses i den østlige del af kaverne feltet. Mod vest ses en synklinal, i hvis kerne saltler og salte fra Z3 inddampningcyklus er til stede.

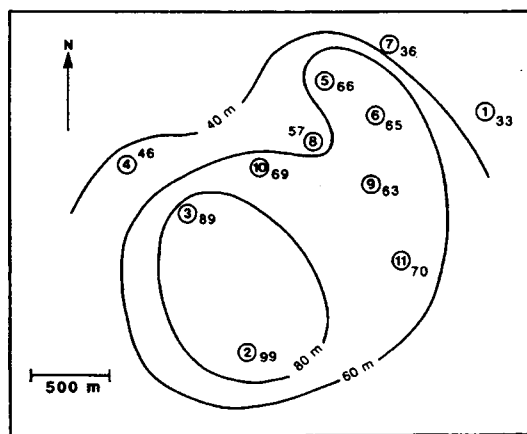


Fig. 11. Cap rock isopach kort. Tykkelserne af cap rock i de enkelte boringer er angivet ved siden af disse.

Cap rock:

Foruden saltstrukturer og stratigrafi giver også cap rock data information om fremtidig strategi ved kaverneboringer. Udbredelse, sammensætning og tykkelsen af cap rock giver således indirekte information om saltstratigrafien og halokinesen i det underliggende salt.

På grundlag af den gravimetrisk opmåling af Tostrup domene i 1981 samt to seismiske undersøgelser i henholdsvis 1973-74 og 1981 har Petersen (1983) kortlagt domens rumlige udstrækning og variationerne i tykkelsen af cap rock. Sammenholdes den gravimetrisk bestemte variation i cap rock tykkelse med tykkelsesvariationerne fra boringerne ses overensstemmende end generel forøgelse i tykkelsen i retning af den sydøstlige del af kavernefeltet. Den tykke del af cap rock overlejrer salt fra Z1 og Z2 cyklerne, hvilket indikerer en relativt stærkere opløftning i dette område end mod vest og nordvest, hvor en tyndere cap rock overlejrer salt af Z3 alder. Sammensætningen af cap rock er hovedsagelig en anhydritkoncentration, dannet fra en primærkoncentration af indtil 5% dissemineret anhydrit i saltet. Foruden den rene anhydrit ses i områderne med tyk cap rock stedvis hele anhydrit-dolomit zonen indesluttet i cap rock. Ca2A2 er i disse boringer identificeret på sit meget karakteristiske logmotiv. Relativt stor cap rock tykkelse er således en anvendelig parameter med hensyn til at anbere Z1 og Z2 salt, velegnet til kavernekonstruktion. Borehulsloggin-gen, den gravimetrisk opmåling af cap rock og den strukturelle analyse, baseret på borekerner har givet overensstemmende resultater med hensyn til tolkningen af domens struktur og halokinese, og den resulterende geologiske model vil blive anvendt ved end eventuel fremtidig udvidelse af antallet af kaverner.

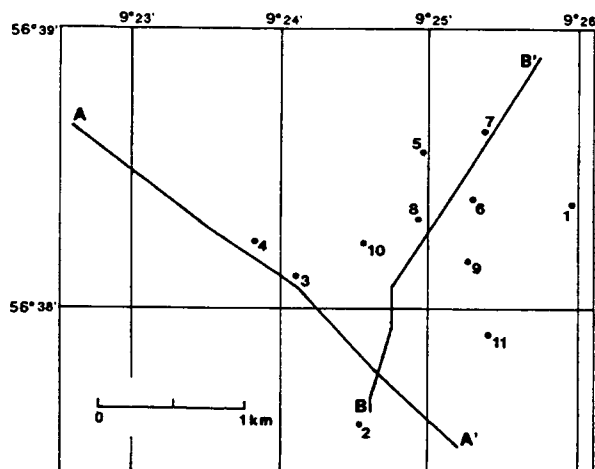


Fig. 12. Kort med de højopløselige seismiske linier (1991-opmålingen) og de udførte boringer.

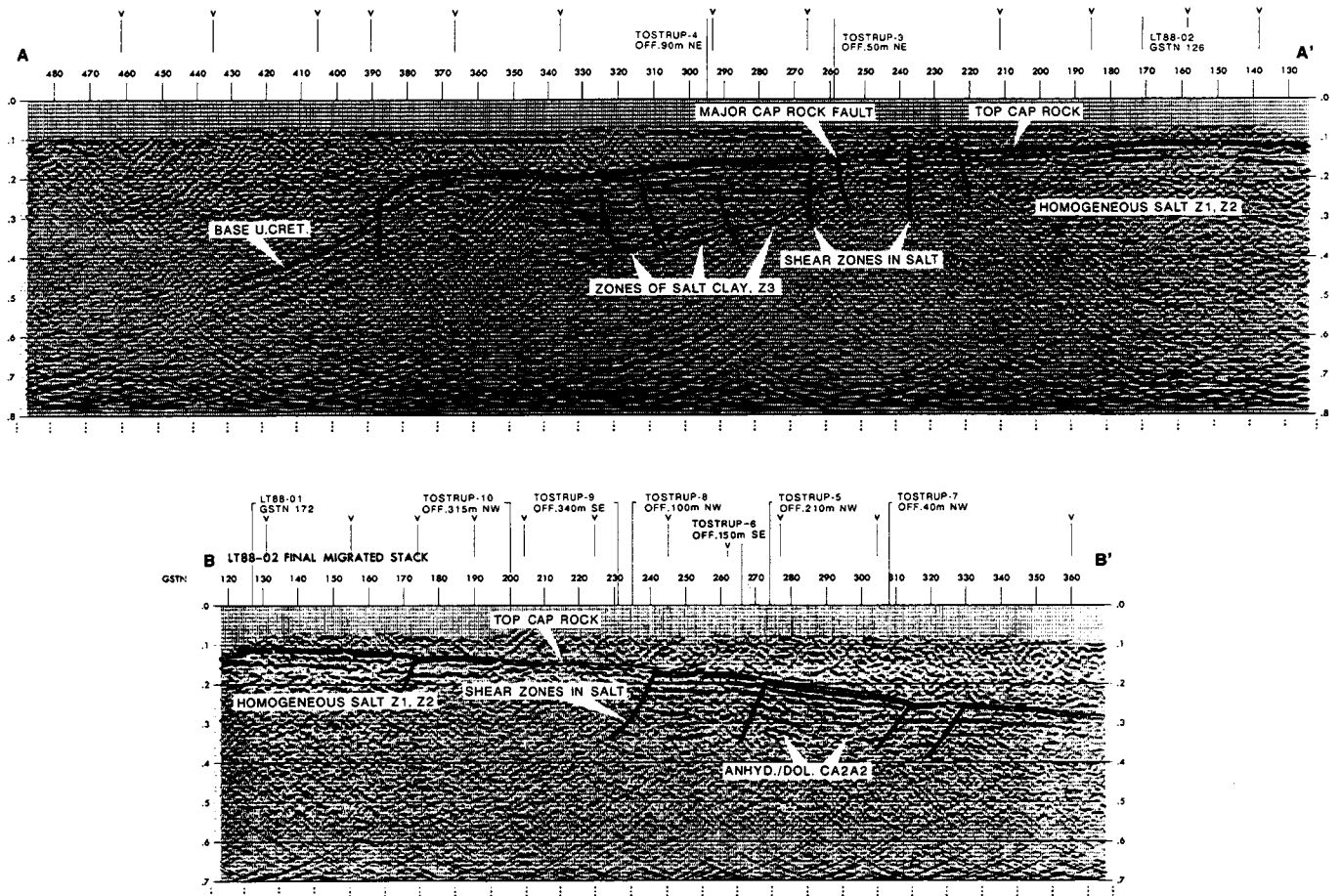


Fig. 13. De tolkede højopløselige seismiske profiler (1991-opmålingen), der viser de mulige tolkninger i saltet under cap rock.

I 1991 blev der af DONG A/S og Aarhus Universitet udført højopløselig seismik langs to testlinier, A-A' og B-B' på tværs af lagerområdet, med henblik på en mulig seismisk bestemmelse af cap rock tykkelsen. Top cap rock reflektoren fremtræder klart i modsætning til basis cap rock reflektoren, og en entydigt bestemmelse af cap rock viste sig ikke at være mulig. De seismiske data er imidlertid interessante ved dels at vise en række forkastningszoner i cap rock og dels område med indre reflektorer i saltet. De interne strukturer på A - A'- profilet kan sandsynligvis korreleres til saltleret T3, som blev gennemboret i To-4. På profilet B - B' får man en god indikation af rent salt langs den sydlige del af profilet, medens den nordlige del viser tydelige reflektorer inde i saltet. I dette område viser borerne, at anhydrit - dolomitzonen er tilstede et stykke nede i saltlegemet, og det er sandsynligt, at reflektorerne stammer herfra. Den højopløselige seismik er således et yderligere hjælpemiddel i bestemmelsen af en saltdomes overordnede strukturer, og denne type seismik bør anvendes på et tidligt tidspunkt i forbindelse med efterforskning af nye kavernefelter.

Referencer.

Fabricius, J., 1984. Studies of fluid inclusions in halite and quartz crystals from salt domes in the Norwegian-Danish basin. In: J. Fabricius (Editor), Zechstein Salt Denmark. Salt research Project EFP-81. Geological Survey of Denmark, Series C., No. 1.4.

Geil, K., 1991. The development of salt structures in Denmark and adjacent areas: The role of basin floor dip and differential pressure. *First Break*, Vol. 9, No. 10.

Jacobsen, F.L., 1984. Lithostratigraphy of the Zechstein salt in the Norwegian-Danish Basin. In: F.L. Jacobsen, M. Sønderholm, and N. Springer, Zechstein Salt Denmark. Salt Research Project EFP-81. Geological Survey of Denmark, Series C., No. 1.2.

Jacobsen, F.L. and Nielsen, B.L., 1993. Predicted Internal Structures in a Danish Salt Dome Proved by the Solution of Six Gas Storage Caverns. *Proceedings Seventh Symposium on Salt*. Elsevier, Amsterdam Vol. 1: 151-158.

Martinez, J.D., 1980. Salt dome cap rock a record of geological processes. *Proceedings Fifth International Symposium on Salt*, Northern Ohio Geol. Soc. 1: 143-151.

Michelsen, O., 1982. Geology of the Danish Central Graben. Geological Survey of Denmark, Series B., No. 8.

Nielsen, B.L., Jacobsen, F.L. and Petersen, S.A., 1993: Cap rock Investigation - an Aid in the Structural Interpretation of the Tostrup Salt Dome, Denmark. *Proceedings Seventh Symposium on Salt*. Elsevier, Amsterdam Vol. 1: 141-149.

Quast, P., 1986. The construction of the caverns in the gas storage, project Ll. Torup, Denmark. SMRI meeting, Amsterdam.

Richter-Bernburg, G., 1953. Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins (in German). *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, 105: 843-854.

Talbot, C.F., 1979. Fold trains in a glacier of salt in southern Iran. *J. Struct. Geol.*, 1: 5-18.

REGIONAL GEOKEMISK KORTLÆGNING I GEOLOGI, MINERAL PROSPEKTERING OG MILJØUNDERSØGELSER.

Agnete Steenfelt

Grønlands Geologiske Undersøgelse

Geologi, mineralprospektering og miljøvidenskab er indbyrdes relaterede med kontaktflader, som illustreret i Fig. 1, og fagdisciplinen geokemi indtager en central placering som vigtig ingrediens i hvert af de tre fagområder. Kemisk analyse af bjergarter og deres "afledte" i form af f.eks. jord og bæksedimenter, samt af grund- og overfladevand, er et vigtigt led i geologisk kortlægning og tolkning, i mineraleftersøgning og i miljøvidenskab.

For at kunne bedømme betydningen af en given grundstofkoncentration i et prøvetagningsmedium er det ofte nødvendigt at kende normalniveauet for koncentrationer i det pågældende medium. Fastlæggelsen af normalniveauer sker i praksis som regel ved, at der for hvert grundstof udregnes en middelværdi eller median på basis af et stort antal prøver af det givne medium (bjergart, jord, vand etc.).

Anvendelsen af således udregnede normalniveauer kan imidlertid være problematisk. Som det ses i tabel 1, er der op til flere størrelsesordener forskel mellem sporelementkoncentrationer i almindeligt forekommende bjergarter, og dermed også i den jord, der ligger oven på disse. Således vil der på Bornholm være ét normalniveau, for f.eks. cadmium, over gnejserne og et andet meget forskelligt niveau over de kambro-silure skifre. Derfor kræves der kendskab til den geografiske variation af normalniveauet, også kaldet den geokemiske baggrundsvariation, for at kunne bestemme om en given koncentration repræsenterer en signifikant afvigelse fra omgivelsernes niveau. Midlet til opnåelse af dette er geokemisk kortlægning.

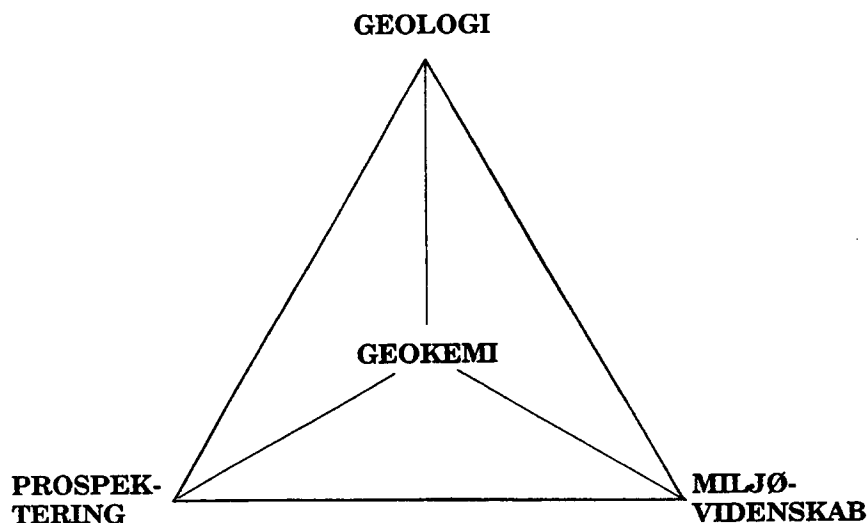


Fig. 1. Diagrammatisk illustration af kontaktflader mellem fagområderne geologi, prospektering, miljøvidenskab og geokemi.

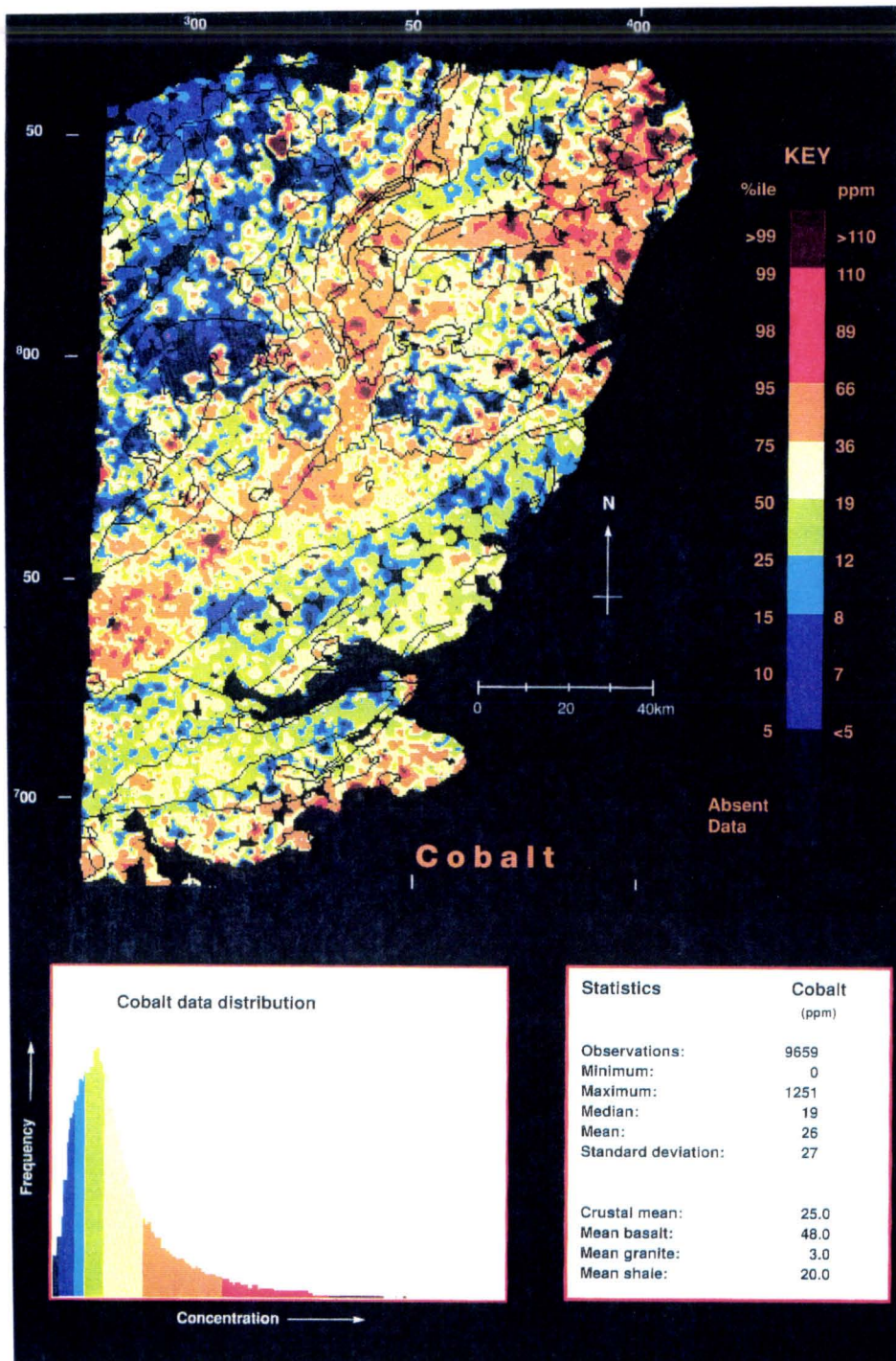


Fig. 2. Geokemisk kort visende kobolt fordelingen over den østlige del af Skotland. Kortet er baseret på analyse (emissionspektrometri) af finfraktionen (< 0,15 mm) af bæksedimenter samlet ind med en gennemsnitlig tæthed på 1 prøve per 1,6 km². Områder med høje Co værdier afspejler forekomster af Kaledone basiske intrusive og vulkanske bjergarter, mens de laveste værdier findes over områder med Kaledone granitintrusioner. Co er et vigtigt næringsgrundstof for planter og dyr. Fra British Geological Survey (1991).

Geokemisk kortlægning omfatter indsamling af prøver fra jævnt fordelte lokaliteter, kemisk multielement analyse af prøverne, og præsentation af resultater på kort, som kan vise enkelt-element variationer eller statistisk bearbejdede fler-element variationer. De almindeligst anvendte prøvemidler er bæksedimenter og jord, men også moræneaflejringer, søsedimenter, bækmos, plantedele, overflade- eller grundvand ses anvendt som prøvetyper.

Metodikken til indsamling og analyse af prøver er først udviklet til malmprospektering, men som følge af store tekniske fremskridt inden for kemisk analyse og databehandling, er det efterhånden blevet almindeligt, at geokemisk kortlægning udføres systematisk på regionalt, nationalt og internationalt plan ofte med flere formål for øje: ressourceevaluering, landskabsplanlægning, miljøkontrol m. fl.

Fig. 2 til 4 viser eksempler på geokemiske kort baseret på forskellige medier og prøvetaget med forskellig tæthed. De viser alle betydelig geografisk variation i den geokemiske baggrund, fra lokal til kontinental skala. Den væsentligste årsag til de regionale variationer i et overflademedium, f.eks. jord eller bæksedimenter, er variationer i de underliggende bjergarter, men for visse grundstoffer som f.eks. Fe, Mn, Mo, Cu, Zn, Mo m.fl., vil variationerne dog ofte afspejle skiftende overfladeforhold (bl.a. variationer i Eh, pH, indhold af organisk materiale). Klima og vegetation spiller en væsentlig rolle for effektiviteten af overfladeprocesserne.

Geokemiske kort udgør en vigtig dokumentation af den kemiske variation, der eksisterer i naturen. Kortene er således til stor gavn for fagområderne vist på Fig. 1. Omvendt kræves der indsigt i de tre fag for at kunne forklare, om en given anomali på et geokemisk kort skyldes den underliggende bjergart, afspejler en mineralisering, skyldes lokale overfladeforhold eller er menneskeskabt.

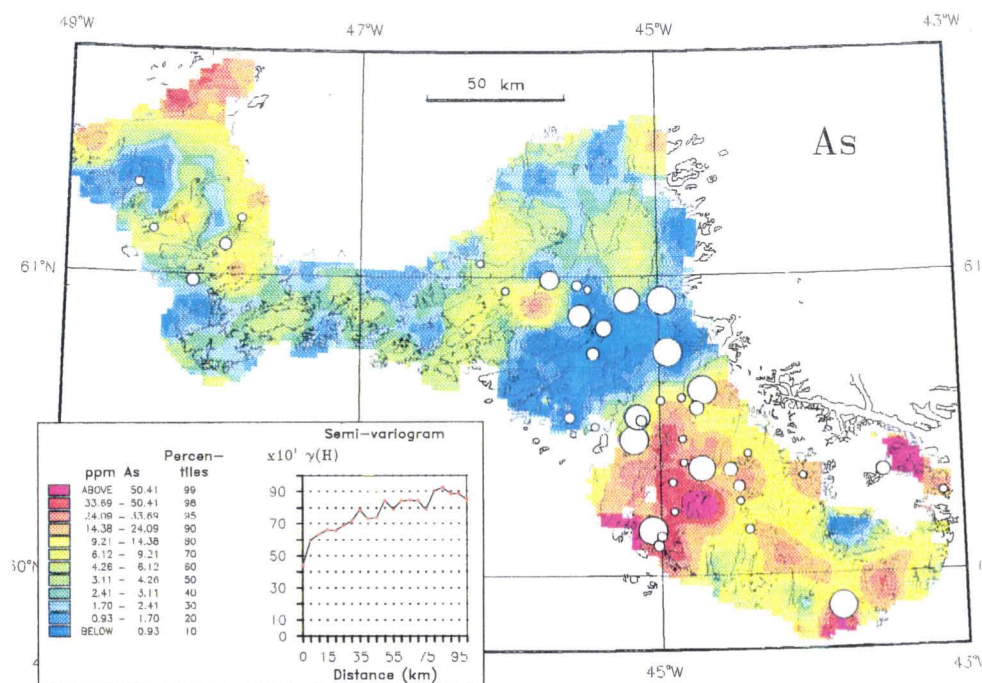


Fig. 3. Geokemisk kort visende arsen fordelingen over Sydgrønland. Kortet er baseret på analyse (neutronaktivering) af finfraktionen (< 0,1 mm) af bæksedimenter samlet ind med en gennemsnitlig tæthed på 1 prøve per 6,25 km². De hvide cirkler viser prøver med indhold af guld (Au) over 20 ppb. Den As-rige provins over Nanortalikdistriktet (N) afspejler dominans af Proterozoiske suprakrustalbjergarter, som har vist sig at indeholde guldførende kvartsgange. As er et såkaldt "pathfinder" grundstof for guldmineraliseringer. I miljøsammenhænge tilhører As en gruppe grundstoffer, der er potentielt skadeligt for planter, dyr og mennesker. Fra Steenfelt & Tukiainen (1991).

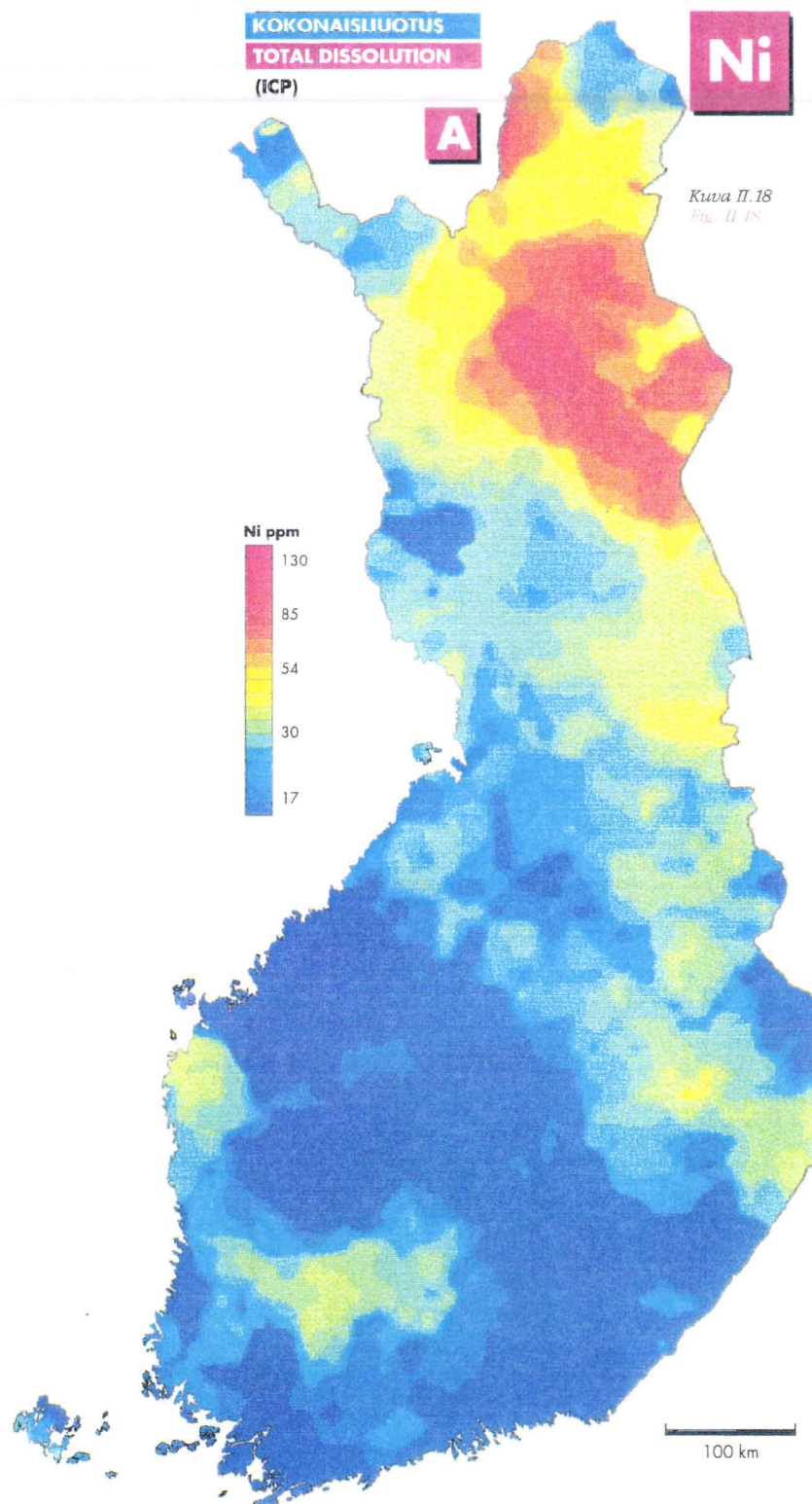


Fig. 4. Geokemisk kort visende fordelingen af nikkel over Finland. Kortet er baseret på analyse (plasma emissions spektrometri) af finfraktionen (< 0,06 mm) af moræneaflejringer samlet ind på 0,5 - 2 m's dybde (C-horisont) med en tæthed på 1 prøve per 300 km². Variationen i Ni-indholdet afspejler regionalgeologiske enheder: Arkæisk-Proterozoiske grønsten og suprakrustaler med højt Ni-niveau i nord, middelniveau over Arkæiske gnejsområder i Mellempfinland, og lavest niveau over Proterozoiske granitoider i den sydvestlige del. Fra Koljonen (1992).

Tabel 1. "Range and mean concentrations of some elements in igneous and sedimentary rocks (ppm)". Fra Thornton et al. (1986).

Elements	Ultramafic igneous	Basaltic igneous	Granitic igneous	Shales and clays	Black shales	Limestones	Sandstones
Arsenic	0.3-16 3.0	0.2-10 2.0	0.2-13.8 2.0	— 10	—	0.1-8.1 1.7	0.6-9.7 2
Barium	0.2-40 1	20-400 300	300-1800 700	460-1700 700	70-1000 300	— 10	— 20
Cadmium	0-0.2 0.05	0.006-0.6 0.2	0.003-0.18 0.15	0-11 1.4	<0.3-8.4 1.0	— 0.05	— 0.05
Chromium	1000-3400 1800	40-600 220	2-90 20	30-590 120	26-1000 100	— 10	— 35
Cobalt	90-270 150	24-90 50	1-15 5	5-25 20	7-100 10	— 0.1	— 0.1
Copper	2-100 15	30-160 90	4-30 15	18-120 50	20-200 70	— 4	— 2
Fluorine	—	20-1060 360	20-2700 870	10-7600 800	—	0-1200 220	10-880 180
Iron	94 000	86 500	14 000-30 000	47 200	20 000	3800	9800
Lead	— 1	2-18 6	6-30 18	16-50 20	7-150 30	— 9	<1-31 12
Mercury	0.004-0.5 0.1	0.002-0.5 0.05	0.005-0.4 0.06	0.005-0.51 0.09	0.03-2.8 0.5	0.01-0.22 0.04	0.001-0.3 0.05
Molybdenum	— 0.3	0.9-7 1.5	1-6 1.4	— 2.5	1-300 10	— 0.4	— 0.2
Nickel	270-3600 2000	45-410 140	2-20 8	20-250 68	10-500 50	— 20	— 2
Selenium	— 0.05	— 0.05	— 0.05	— 0.6	—	— 0.08	— 0.05
Vanadium	17-300 40	50-360 250	9-90 60	30-200 130	50-1000 150	— 20	— 20
Zinc	— 40	48-240 110	5-140 40	18-180 90	14-1500 100	— 20	2-41 16

Adapted from table compiled by M. Fleischer and H. L. Cannon (Cannon *et al.*, 1974)

Reference

British Geological survey, 1991: Regional Geochemistry of the East Grampians area. Keyworth, Nottingham: British Geological Survey.

Koljonen, T. (Editor), 1992: The Geochemical Atlas of Finland, part 2: Till. Geological Survey of Finland, Espoo.

Steenfelt, A. & Tukiainen, T., 1991: Geochemical mapping: distribution of gold, arsenic, antimony and tantalum in South Greenland. Rapp. Grønlands geol. Unders., 152, 55-61.

Thornton, I., Abrahams, P.W., Culbard, E., Rother, J.A.P. & Olson, B.H., 1986: The interaction between geochemical and pollutant metal sources in the environment: Implications for the community. I I. Thornton & Howarth, R.J. (editorer) Applied Geochemistry in the 1980s. Graham & Trotman, London. 270-308.



Figur 1. Miljøets sfærer: Atmosfære, hydrosfære, geosphære, og i midten biosfæren (efter Hansen 1984).

MILJØHISTORIE

Svend Th. Andersen

Ændringer i miljøtilstanden bagud i tiden, miljøets historie, kan rekonstrueres ved målinger af geofysiske, geokemiske eller palæontologiske parametre i sedimentserier. Tidsskalaen kan strække sig over millioner, hundredtusinder, tusinder eller hundreder af år. Jo nærmere vi kommer nutiden, jo mere detaljeret kan miljøhistorien rekonstrueres. Dette gælder ikke mindst de sidste tusinder og hundreder af år, hvor menneskeligt fremkaldte miljøændringer i stigende grad overskygger naturlige miljøændringer.

Miljøets sfærer

Jens Morten Hansen (1984) afbildede miljøets elementære sfærer, atmosfæren, geosfæren og hydrosfæren i en pyramide (Figur 1). I det fælles centrum finder vi biosfæren. Geosfære og hydrosfære påvirkes fra atmosfæren, direkte og via den centrale biosfære. Den fælles energikilde i dette system er solindstrålingen.

Solindstråling og miljø 0-150.000 år

Ved solindstrålingen opvarmes geosfærens overflade, kontinenterne, og ved den uensartede opvarmning af kontinenterne sættes der gang i klimapåvirkningerne. Ændringer i solindstrålingen er derfor afgørende for miljøtilstanden. Den jugoslaviske astronom M. Milankovitch beregnede i 1941 langsigtede ændringer i solindstrålingen på grundlag af lovmæssigheder i ændringer af jordbanens excentricitet og jordaksens inklination (Figur 2, A). Ændringer i den totale solindstråling består derfor af et system af perioder af 100.000 og 20.000 års varighed med varierende amplitude.

Et direkte mål for solindstrålingens påvirkning af atmosfæren fås ved målinger af ^{18}O indholdet i iskerner. Dette gælder iskerner i Grønland, og selv på den sydlige halvkugle (Antarktis Figur 2, B) følger den rekonstruerede temperaturkurve periodiciteten i solindstrålingen på den nordlige halvkugle, et udtryk for at solopvarmningen af kontinenterne på den nordlige halvkugle var afgørende for det globale klima.

Temperaturændringer som følge af ændringer af solindstrålingen og deraf afledte klimaændringer var afgørende for ophobningen af ismasser på kontinenterne. Herved unddroges oceanerne ferskvand. Hydrosfæren påvirkedes derfor også af ændringer i solindstrålingen. Et mål herfor fås ved målinger af ^{18}O indholdet i sedimentserier fra dybhavet, idet ^{18}O koncentrationen i det ferskvand, der opsamledes i ismasserne var lavere end i oceanet (Figur 2, C). Periodiciteten i denne kurve følger solindstrålingen, men amplituden er mindre, et udtryk for at ^{18}O indholdet i havvandet kun var sekundært afledt af solindstrålingen.

Langsigtede ændringer i solindstrålingen har også været afgørende for udformningen af biosfæren. En rekonstruktion af temperaturændringer bygget på pollenanalyser fra terrestriske sedimentserier viser en sammenhæng med solindstrålingen (Figur 2, D). Ligesom i oceanerne følger periodiciteten her periodiciteten i solindstrålingen, men også her er amplituderne mindre. De aflæste temperaturforskelle er derfor også her kun sekundært betinget af forskelle i solindstrålingen.

Solindstråling og miljø 0-10.000 år

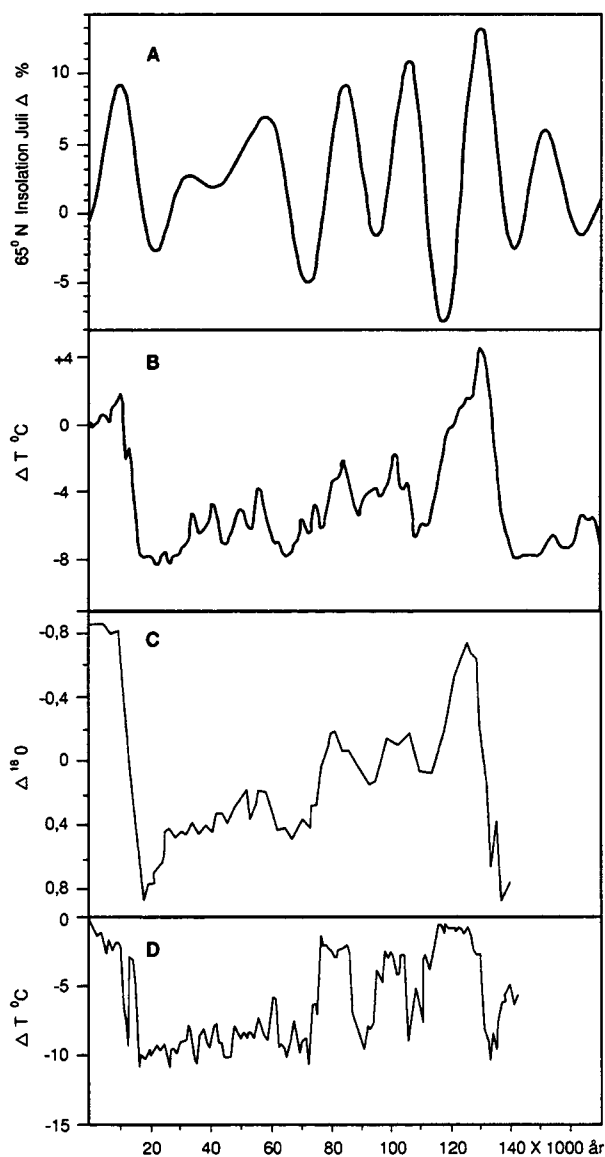
Det sidste minimum af solindstrålingen (Figur 2, A) falder sammen med den maksimale udbredelse af de kontinentale isdækker. Herefter findes et nyt maksimum, som toppe ved 10.000 år og derefter en aftagende solindstråling op mod nutiden. Også i dette tidsrum har ændringer i solindstrålingen påvirket miljøet.

En rekonstruktion af glaciationsgrænsen (equilibrium line altitude, ELA) i Norge for de sidste 10.000 år (Figur 3, A) viser et maksimum ved 6-8.000 kulstof-14 år, hvilket svarer til 7-9.000 solår før nu, og derefter et jævnt fald, med mindre svingninger, op mod i dag. Omsat til temperaturer svarer dette til et fald på 2,5° C. Et tilsvarende forløb havde ændringer af trægrænsens højde i samme tidsrum (Figur 3, B). Sænkningen af trægrænsen efter højdepunktet ved 8.000 ¹⁴C år udgør henved 300 m.

Et andet mål for solindstrålingens påvirkning af atmosfæren og dermed biosfære og geosfære fås ved registreringer af tørvelagenes humificering i højmoser. Højmosetørvens omsætningsgrad er størst ved høj temperatur og lav luftfugtighed og mindst ved lav temperatur og høj luftfugtighed (Aaby 1976, 1978). Humificeringskurverne fra danske højmoser (Figur 3, C og D) viser en slående lighed med kurverne for glaciationsgrænsen og trægrænsens højde i Norge: høje værdier ved 7-8.000 kulstof-14 år før nu, og aftagende værdier op mod nutiden.

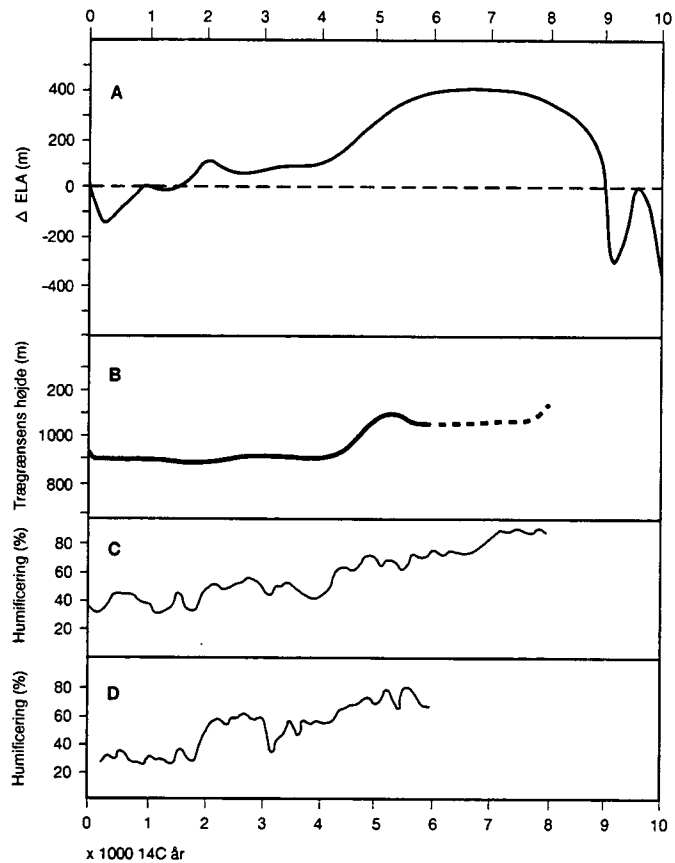
Højmosekurverne har en betydelig detailleringsgrad og viser en række mindre svingninger, som i høj grad er fælles i de to viste eksempler (Figur 3, C og D). Et minimum i humificeringsgraden ved 4-3.000 ¹⁴C år er afspejlet i kurven for glaciationsgrænsen i Norge (Figur 3, A), ligesom markante fald ved omkring 2.000 og 500 år før nu er fælles for disse kurver.

En langsigtet effekt af ændringer i solindstrålingen gør sig således tydeligt gældende såvel i de norske fjelde som i danske højmoser. For korttidssvingning-



Figur 2. Solindstrålingen og dens påvirkning af miljøet i de sidste 150.000 år. A. Juli insolation ved 65° N, i procentafvigelse fra den nuværende værdi (efter Berger 1978). B. Temperaturafvigelse fra nutiden i 0C, baseret på oxygen isotoper i Vostok iskernen fra Antarktis (efter Jouzel et al. 1987). C. Normaliseret oxygen isotop kurve fra dybhavssedimenter i Nordatlanten (efter Martinson et al. 1987). D. Temperaturafvigelse fra nutiden i 0C, baseret på vegetationsændringer i Sydfrankrig (efter Guiot et al. 1989).

Figur 3. Ændringer i miljøet de sidste 10.000 år. A. Afvigelse af glaciationsgrænsen (ELA, equilibrium line altitude) i Jotunheimen (efter Nesje et al. 1991). B. Trægrænsens højde på Hardangervidda (efter Moe og Odland 1992). C-D. Omsætningsgrad (humificering) af tørvelag i danske højmoser. C. Abkær Mose, D. Fuglsø Mose (efter Aaby i Andersen et al., under udgivelse). Tidsskalaen er i kulstof-14 år.

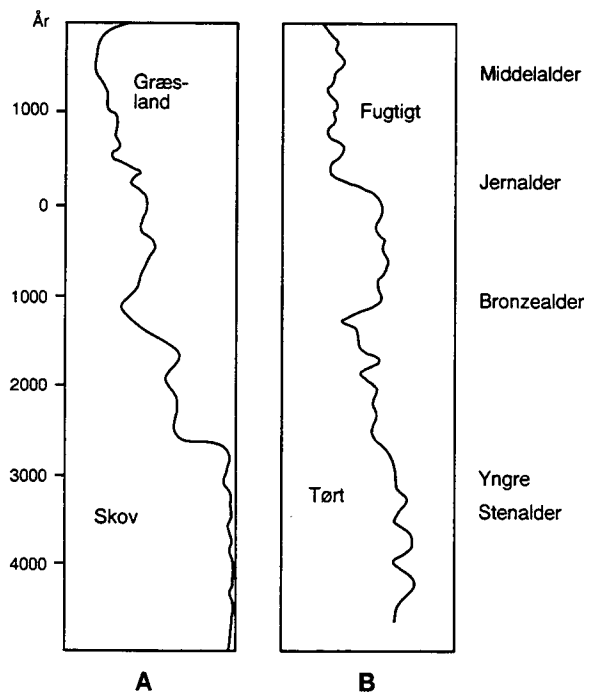


gerne findes ingen overbevisende forklaringer, men en regelmæssig periodicitet synes at gøre sig gældende (260 års-cyklus, Aaby 1976). En anden vanskelighed er, at de målte størrelser ikke kan opløses i temperatur- og nedbørmæssige parametre, men snarere udtrykker samspillet mellem disse.

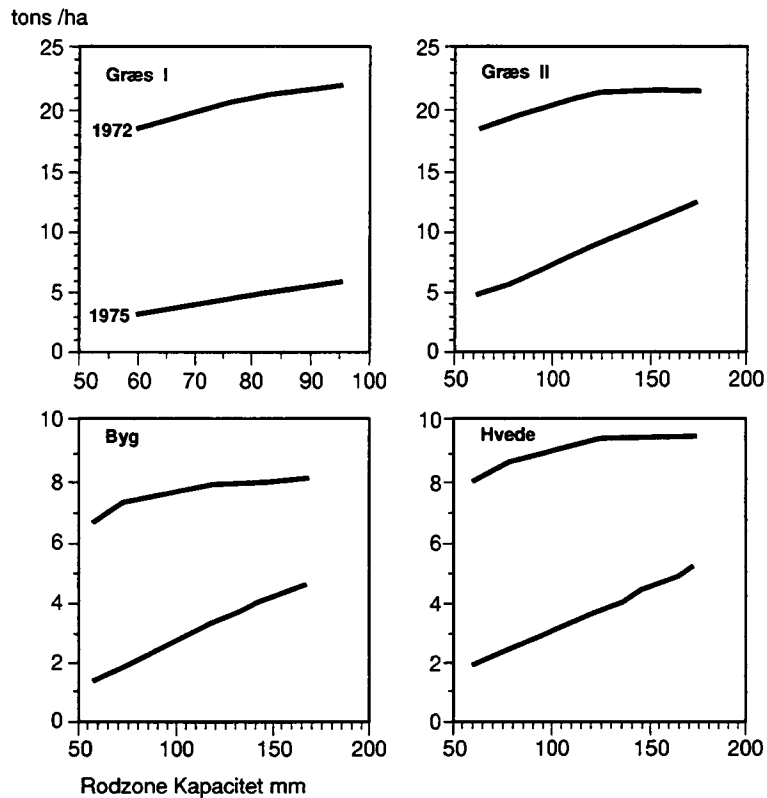
Biosfærens udvikling 0-10.000 år

Temperaturmaksimet for 10-8.000 år siden satte gang i genindvandringen af den tempererede løvskov, som i Danmark var fuldt etableret for omkring 6.000 år siden. Netop ved 6.000 år før nu begyndte mennesket at påvirke miljøet ved indførelse af landbrug. Landbruget krævede plads og åbne arealer. Skoven blev derfor ryddet til fordel for græsgange og marker. Den mest intensive landbrugsudnyttelse i Danmark fandtes i det vestlige Limfjord-sområde (Figur 4, A). De første store skovrydninger begyndte her omkring 2800 f.kr., og fra dette tidspunkt udvidedes landbrugsarealet næsten konstant op mod vor tid, hvor næsten al skov var fjernet. Baggrunden har været en meget intensiv bebyggelse gennem oldtiden og op til nutiden.

Det er påfaldende, at kurven for landbrugsudnyttelsen i Thy er parallel med



Figur 4. A. Skovrydninger i Thy de sidste 6.000 år B. Omsætningsgrad af højmosetørv i Fuglsø Mose, Djursland (efter Andersen 1962). Tidsskala i kalenderår.



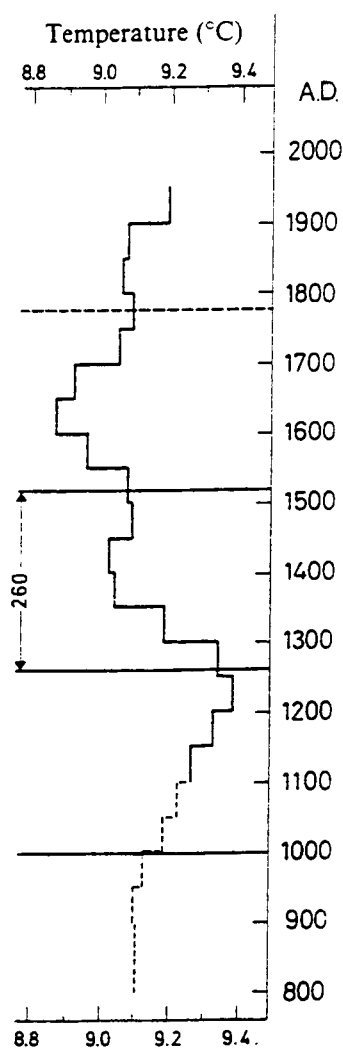
Figur 5. Høstudbytte ved græsning (græs I) og høslet (græs II), og kornudbytte af byg og hvede, i forhold til jordens vandbindende evne (rodzonekapacitet) i et vådt år (1972, grøn) og et tørt år (1975, rød). Efter Aslyng 1986.

fugtighedskurven fra højmoserne (Figur 4, B). Man får det indtryk, at landbrugsarealet øgedes i takt med stigende luftfugtighed (eller nedbør). Høstudbyttet på græsarealer og kornarealer i Danmark er stærkt afhængig af nedbøren (Figur 5). I tørre år er høstudbyttet væsentligt lavere end i år med stor nedbør og svinger totalt på lette jorder (lav rodzonekapacitet, Figur 5), hvilket også gjorde sig tydeligt gældende i 1992. I Yngre Stenalder og Ældre Bronzealder var klimaet i Danmark væsentlig mere tørt end i dag, men med stigende nedbør kunne man åbenbart udvide landbrugsarealet. Den markante tørkeperiode i Yngre Bronzealder og Ældre Jernalder falder sammen med en indskrænkning af landbrugsarealet, muligvis fordi man måtte opgive at dyrke de lettere jorder og lade dem springe i skov, og med den stigende nedbør, fra år 0 og op mod vor tid kunne man igen udvide landbrugsarealet.

Det ser ud til at muligheden for at udnytte naturressourcerne til landbrug i intensivt bebyggede områder ved den vestlige Limfjord var afhængig af naturlige klimaændringer. I Østdanmark fandtes store skovbevoksede områder, hvor landbrugsaktiviteterne var betydeligt svagere og arealudnyttelsen væsentlig mindre intensiv end i det vestlige Limfjordsområde (Andersen 1991, 1992). Her var der ingen tydelig afhængighed af klimaændringerne.

Miljøændringer 0-200 år

Op mod i dag bliver detailleringsgraden i påviselige miljøhistoriske ændringer større. I dette tidsrum gør menneskets påvirkning af miljøet sig stærkt gældende.

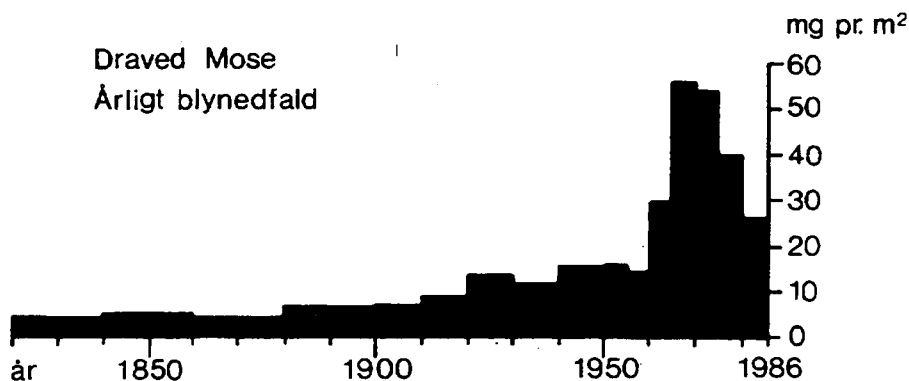


Figur 6. Lufttemperatur i Sydengland år 800-1950 (50 års gennemsnit) sammenlignet med cykliske klimaperioder fra danske højmoser (efter Aaby 1976).

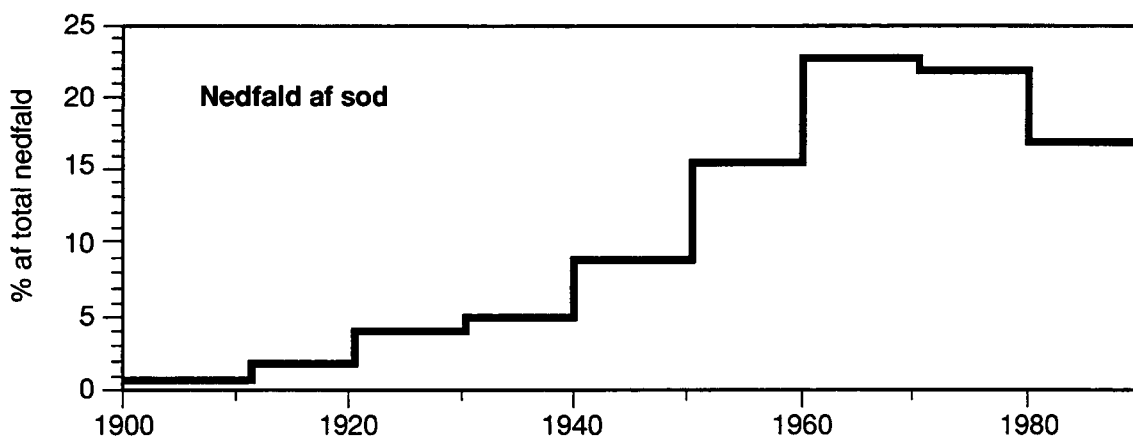
De sidste 260-årige klimacykler, som er påvist i danske højmoser, er afspejlet i en rekonstrueret temperaturkurve for Midtengland (Figur 6). Indenfor hver cyklus skete et mere eller mindre markant temperaturfald afløst af en temperaturstigning. De lave temperaturer vi har oplevet i 1800-tallet, og temperaturstigningen i dette århundrede kan derfor ses som led i en naturlig udvikling, som videre fremover vil medbringe et nyt temperaturfald i begyndelsen af næste århundrede, hvis ikke menneskets forurening af atmosfæren ændrer dette forløb (Aaby 1976).

Forurening af atmosfæren gør sig tydeligt gældende ved øget nedfald af partikler frembragt ved industrialiseringen, som kan måles i sedimentserier. Et efterhånden klassisk eksempel er nedfaldet af atmosfærisk tilført bly på højmoser (Figur 7). Blynedfaldet fordobledes i sidste halvdel af forrige århundrede og steg jævnt op igennem første halvdel af dette århundrede. I 1960-1970 femdobledes blynedfaldet på grund af bly tilsat automobilbenzin. Siden 1975 er dette bidrag næsten fjernet igen, men blynedfaldet ligger stadig (1980-86) på et højt niveau sammenlignet med 1950.

Kurven for blynedfaldet viser direkte forløbet af miljøforureningen ved tilførsel af et enkelt giftstof. Et mål for luftforureningen ved afbrænding af fossilt brændsel og hvad denne medfører af forurening og tilførsel af giftstoffer fås ved registrering af nedfaldet af kugleformede sodpartikler i sedimenter på bunden af søer (Figur 8). Ved vort århundredes begyndelse var denne luftforurening minimal, men fra 1910 skete en kraftig forøgning af sodnedfaldet, som accelererede yderligere i efterkrigsårene op til 1970, hvorefter bedre røggrensning har mindsket nedfaldet, dog endnu ikke til et acceptabelt niveau.



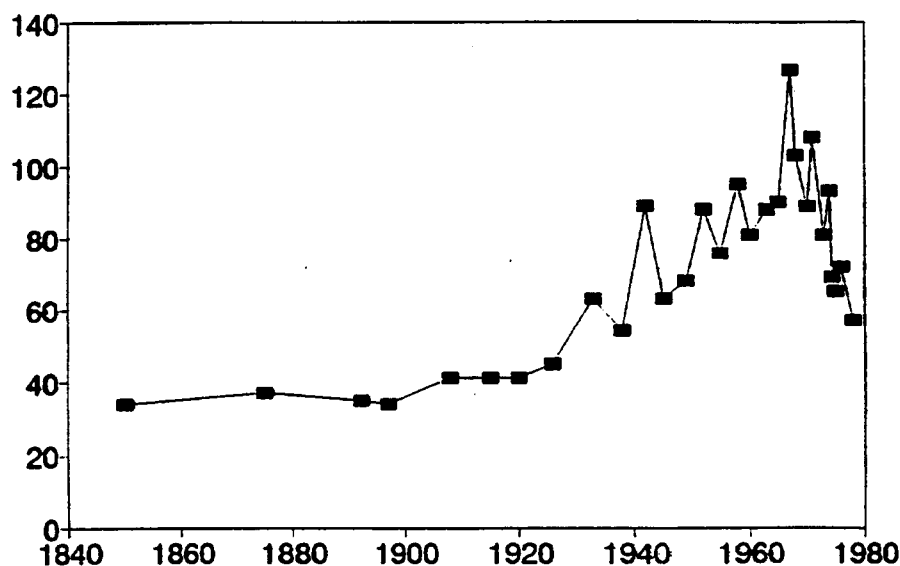
Figur 7. Årligt blynedfald på Draved Mose i Sønderjylland, 1820-1986 beregnet ved analyser af højmosetørv (efter Aaby 1987).



Figur 8. Nedfald af kugleformede sodpartikler dannet ved afbrænding af fossilt brændsel 1905-1990. Gennemsnit for 4 søer, i procent af det totale nedfald (efter Odgaard, under udgivelse).

Menneskets ændringer af atmosfæren kan medføre klimaændringer eller atmosfæren kan virke som transportvej for stoffer, som påvirker biosfæren og hydrosfæren. Forurening af vandmiljøet sker også ved nedsivning af næringsstoffer og ved udledning af spildevand. Kiselalgesamfund i søer reagerer især på vandets fosfatindhold. Ved statistisk kalibrering af kiselalgeanalyser fra søsedimenter er det muligt at beregne fosfatkoncentrationen i vandet (Anderson, et al.1993) og herved rekonstruere baggrundsværdier af fosfatkoncentrationen og forløbet af fosfatforureningen. I det viste eksempel (Figur 9) flerdobledes fosfatkoncentrationen i 1920'erne som følge af anlæggelsen af et mejeri, som ledte spildevand ud i søen. Omkring 1970 ophørte spildevandsudledningen. Søen reagerede herpå, idet fosfatkoncentrationen i løbet af et tiår faldt til værdier, som nærmer sig baggrundsværdierne fra forrige århundrede.

Miljøhistoriske undersøgelser af sedimentserier kan således anvendes til at vise tidshorisonter og styrke af miljøbelastninger, og til at kontrollere om afværgeforanstaltninger er tilstrækkelige til at bringe forureningen tilbage til et mere naturligt niveau.



Figur 9. Koncentration af fosfor i vandet i en sø i Nordirland (Lough Augher) 1850-1980, beregnet ved analyser af kiselalgesamfund i bundsedimentet (efter N. J. Anderson, under udgivelse).

Afslutning.

Der er i det forudgående nævnt eksempler på hvordan ændringer i miljøet bagud i tiden kan kvantificeres på forskellige tidsskalaer og niveauer. Fælles er geologiske målemetoder anvendt ved studier af sedimentserier, som varierer fra gletcheris, ocean- og søsedimenter til højmosetørv. På de lange tidsskalaer dominerede ekstraterrestriske kræfter miljøændringerne, men jo nærmere vi kommer nutiden, jo mere overskygges disse af menneskets påvirkninger. Værdien af sådanne måleserier er afhængig af at måleserien er ensartet og resultaterne derfor sammenlignelige over et repræsentativt tidsrum.

Abstract:

Environmental History. Changes of the environment in the past, the history of the environment, can be reconstructed on different time scales by studies of sediment columns. Changes in the atmosphere, the geosphere, the hydrosphere, and their common centre, the biosphere, were primarily driven by changes in insolation. Changes on a 100.000 year scale have been studied in ice cores, ocean deep sea cores or in terrestrial sediments. Changes on a 10.000 year scale were studied by reconstructions of changes of the glacial equilibrium line altitude, the tree limit attitude or of air humidity. For the past 6.000 years man has changed the environment in Denmark by increasing deforestation. The intensity of land exploitation was probably related to the availability of moisture in intensively populated areas. Short-term climatic fluctuations may become counteracted by the influence of man. The recent influence of man on the environment can be measured by changes in the deposition of airborne particles or by waterborne transport of pollutants to aquatic environments.

Referencer

Andersen, S.T. 1991. Miljøhistorie/History of the environment. Årsberetning for 1990, Danmarks Geologiske Undersøgelse, Miljøministeriet, 40-45.

Andersen, S.T. 1992. Miljøhistorie og kulturhistorie i det vestlige Limfjords område. Limfjordsprojektet, Rapport nr. 5, 87-91.

Andersen, S.T., Odgaard, B. og Aaby, B., under udgivelse. IGCP project 158 b, Denmark.

Anderson, N.J., Rippey, B. og Gibson, C.E. 1993. A comparison of sedimentary and diatom-inferred phosphorus profiles: implications for defining predisturbance nutrient conditions. *Hydrobiologia*, 253, 357 - 366.

Aslyng, H.C. 1986. Klima, vandforsyning og planteproduktion. I: K.M. Jensen og A. Reenberg (eds.): *Landbrugsatlas Danmark*, 10-16.

Genthon, C., Barnola, J.M., Raynaud, D.; Lorius, C., Jouzel, J., Barkov, N.I., Korotkevich, Y.S. og Kotlyakov, V.M. 1987. Vostok ice core: climatic response to CO₂ and orbital forcing changes over the last climatic cycle. *Nature* 329, 414 - 418.

Hansen, J. M. 1984. *Geologi for enhver*. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Miljøministeriet. 88 s.

Jouzel, J., Lorius, C., Petit, J.R., Genthon, C., Barkov, N.I., Kotlyakov, V.M. og Petrov, V.N. 1987. Vostok ice core: A continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years). *Nature* 329, 403-409.

Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C. og Shackleton, N. J. 1987. Age, dating and orbital theory of the ice ages: Development of a high resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research* 27, 1-29.

Moe, D. og Odland, A. 1992. The influence of the temperature climate on the vertical distribution of *Alnus incana* (Betulaceae) through the Holocene in Norway. *Acta Botanica Fennica* 144, 35-49.

Nesje, A., Kvamme, M., Rye, N. og Løvlie, R. 1991. Holocene glacial and climate history of the Jostedalbreen region, western Norway; evidence from lake sediments and terrestrial deposits. *Quaternary Science Reviews*, 10, 87-114.

Odgaard, B.V., under udgivelse. The sedimentary record of spheroidal carbonaceous particles in shallow Danish lakes. *Journal of Paleolimnology*, 8, 171 - 187.

Pons, A. de Baulien, J.-L., Guit, J. og Reille, M. 1991. Le pollen remonte le temps climatique. *La Recherche*, 22, 518 - 520.

Aaby, B. 1976. Cyclic climatic variations in climate over the past 5,500 yr reflected in raised bogs. *Nature*, 263, 281-284.

Aaby, B. 1978. Cyclic changes in climate during 5,500 yrs. reflected in Danish raised bogs. *Det Danske Meteorologiske Institut, Klimatologiske Meddelelser*, 4, 18-26.

Aaby, B. 1987. Mindre bly i luften. *DGU Information*, 1987, 2, 7-8.

NARSSAQ-PROJEKTET.

BAGGRUND, OMFANG OG SIGTE.

Carsten Langtofte

I efteråret 1972 tog professor Henning Sørensen initiativ til en kollokvie-række, der hurtigt kom til at gå under betegnelsen "Sørensens Miljøgeologi". Ud over konkrete, men absolut nye emner i det faglige spektrum som for eksempel ressourcegeologi med temaer som mennesket som geologisk kraft, landudnyttelse, planlægning og urban-geologi, lovgivning og geologiske aspekter af forurening, kom kollokvie-rækken til at danne rammen om en begrebsmæssig afklaring af geologiens rolle i forhold til en række af tidens brændende spørgsmål, der var affødt af den stigende befolkningstæthed, fødevareknapheden, ressourcerovdrift og stigende forurening. I "Hvad er "miljø-geologi", et forsøg på en indkredsning og beskrivelse" hedder det således "mennesket har nu så store energimængder til rådighed, at det må betragtes som en særdeles magtfuld geologisk kraft, som på afgørende vis kan forskyde balancen i det naturlige miljø, og til dels i en for mennesket ugunstig retning." Og i en indstilling til det geologiske fagstudienævn kom der blandt andet til at stå: "Miljøgeologi kan defineres som de geologiske bidrag til interdisciplinære studier af menneskets økosystem. Den består af alle geologiens hoveddiscipliner i samspil med andre fagområder: biologi, kemi og fysik, økonomi m.v." I de studerendes bemærkninger kom det til at hedde: "...at, miljø- og ressource-geologi ikke er en ægte delmængde af den klassiske geologi, men snarere interferens-området mellem biosfære og det man kunne kalde de geologiske materialer og processer. Udover således ikke bare at være en samling af miljørelevante dele af geologien, er det også en ny "dimension" (økologisk tænkemåde), der bør brede sig ind i de klassiske geologiske discipliner."

Alle disse aspekter blev sammenføjet i praksis, da Henning Sørensen sammen med professor Christian Overgård Nielsen fra Zoologisk Museum planlagde og initierede det meget omfattende miljøgeokemisk-økologiske forskningsprojekt "Narssaq-projektet". Projektet blev finansieret af Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd og gennemført med logistisk støtte fra Grønlands Geologiske Undersøgelse. Udover personale og studerende fra Institut for Petrologi og Zoologisk Museum deltog en række andre institutter ved Københavns Universitet, blandt andet Geologisk Museum, Zoologisk Centralinstitut, Botanisk Centralinstitut, Botanisk Museum og Ferskvandsbiologisk Laboratorium, samt Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole og Forskningscenter Risø.

Projektets undersøgelsesområde var egnen omkring Narssaq i Sydgrønland, hvor der var aktuelle planer om at bryde og oparbejde uranmalm fra Ilímaussaq-intrusionen på Kvane-fjeld. Der blev således opstillet tre hovedmål for projektet:

1. *En geokemisk og økologisk beskrivelse af området før minedrift bliver sat igang med henblik på at muliggøre en overvågning af det meget sårbare subarktiske miljø under minedriften.*

Et meget væsentligt aspekt af dette mål, var at udpege indikatororganismer, såvel inden for fauna som flora i alle økologiske hovedled, d.v.s. terrestriske, limniske og marine miljøer, der på et så tidligt tidspunkt som muligt kunne påvise de miljømæssige påvirkninger af minedriften.

2. Området er så godt som upåvirket af menneskelige aktiviteter og kan derfor tjene som baggrund i monitoringen af fremadskridende globale påvirkninger af det geokemiske og biologiske miljø.

Inden for dette delmål blev der oprettet automatiske, selvregistrerende klima- og hydrologiske målestationer, der kunne fungere fra feltsæsson til feltsæsson. Der blev foretaget analyser af pesticider og kviksølv fra lever- og nyrevæv fra nyslagtede lam og der gennemførtes en undersøgelse af lichener.

3. Undersøgelser af udvalgte, sjældne grundstoffers geokemiske og økologiske kredsløb, herunder deres exogene mobilisering og migration og deres optagelse i planter og dyr. Undersøgelsen omfattede identiske undersøgelser i tre dræneringsoplande underlejret af Ilímaussaq-intrusionens bjergarter, der har ekseptionelt høje indhold af en række sjældne grundstoffer som lanthanider, zirkonium, hafnium, niobium, tantal og thorium, men er som er meget sparsomt bevokset, og 3 dræneringsoplande underlejret af ordinære granitter med lave indhold af sjældne grundstoffer, men med tæt bevoksning.

I forbindelse med dette mål blev der gennemført kemiske analyser af et stort antal forvittringsprodukter, jordbundsprøver, søsedimenter, elvsedimenter, marine sedimenter vandprøver og deres korresponderende indhold af suspenderet materiale. Ligeledes blev der gennemført et stort antal analyser af forskellige plantedele og forskellige dele af især marine organismer. I laboratoriet blev der gennemført et analyseprogram omkring simulerede forvittringsprocesser.

På baggrund af de mange analyseresultater blev det muligt at opstille tilnærmede kvantitative exogene kredsløb for en række sjældne grundstoffer samt at give væsentlig information om de processer, der styrede deres migration og fordeling i det terrænnære miljø.

Et afledt aspekt af dette var at udvikle en analysemetodik, in casu instrumentel neutronaktivitet, der var følsom nok til de meget lave koncentrationer, der var tale om i biologisk materiale og i overfladevand, og som samtidig kunne analysere små prøvemængder og begrænse risikoen for kontaminering af prøvematerialet til et minimum.

Set i tilbageblik står det klart, at Narssaq-projektet var banebrydende og pegede fremad mod en række af de problemstillinger, som præger den nutidige miljødebat.

Først og fremmest var og blev projektet banebrydende, fordi det i sin grundlæggende tankegang var økologisk orienteret og i sin grundlæggende opbygning var tværfagligt. Dertil kommer at projektet med sin placering i et sårbart subarktisk område med et meget højt indhold af sjældne grundstoffer bidrog med en lang række forskningsmæssigt væsentlige resultater og en lang række udfordringer til metodeudvikling og problemafklinger inden for miljøovervågning. I sit sigte foregreb Narssaq-projektet de aspekter, som ligger i mil-

jøministeriets arbejde med miljøindikatorer og som er blevet udmøntet inden for grundvandsområdet med den store Vandmiljøhandlingsplan og det dertil knyttede grundvandsovervågningsprogram. Overskrifter i dagspressen som Mundelstrup, nyttehave der ikke må dyrkes, børnehaver hvor børn ikke må lege ude, dyrkningslagets stigende indhold af tungmetaller fra slamudbringning og kunstgødning, og debatten omkring differentieret arealanvendelse peger antageligt frem mod, at en Landmiljøhandlingsplan også snart er aktuel. Dermed vil sigtet i Narssaq-projektet i sin helhed være kommet til udfoldelse i den danske miljø-sammenhæng.

MILJØGEOLOGI I DANMARK

tilbageblik og udsyn

Henning Sørensen

Begrebet miljøgeologi blev introduceret i Danmark på det første og hidtil eneste geologiske landsmøde i Danmark, der blev afholdt på Hotel Nyborg Strand den 8 -10. oktober 1971. Nationalkomiteen for Geologi havde taget initiativet til mødet med to hovedbegyndelser:

- Geologien havde udviklet sig fra et i hovedsagen beskrivende naturhistorisk fag til et i høj grad eksperimentelt fag;
- Geologi var i Danmark ved at udvikle sig fra at være et fag og forskningsfelt til at blive en profession.

Dette stillede nye krav til fagets udøvere og til uddannelsen af geologer, og er iøvrigt fortsat en faglig udfordring, idet de nævnte udviklingstendenser langt fra er afsluttede.

Der var 103 deltagere i landsmødet, heraf 25 studerende. Den samlede geologpopulation i Danmark var dengang ca. 180, hvoraf de 104 var blevet kandidater efter 1965. Denne skæve alderfordeling mod unge uerfarne geologer gav anledning til bekymring. For os i dag er det den omvendte aldersfordeling, der er bekymrende. Vi befandt os i 1971 i begyndelsen til den alderspukkel, som nu anses for at være et af dansk forsknings hovedproblemer.

Af nye emner, der blev bragt op på landsmødet, og som nu er realiseret kan nævnes:

- Regions- eller amtsgeologer foreslået af Gunnar Larsen;
- Et B.Sc.niveau i uddannelsen af geologer foreslået af Asger Berthelsen;
- Nye argumenter for at bringe geologien tilbage i skole og gymnasium fremført af Tove Birkelund. Det skal her indskydes, at geologien i gymnasiet var gået tabt i skvulpet omkring 1968 oprøret, bl.a. fordi geologien ikke havde fødelinien til gymnasiet i orden. Nu er geologien tilbage i gymnasiet og det er geologernes pligt at sørge for, at faget ikke igen glider ud af mangel på lodig og sund føde.
- Endelig miljøgeologi, som jeg foreslog inspireret af Peter Flawns bog fra 1970: "Environmental Geology - conservation, land-use planning and resource management".

Miljøgeologi - et nyt begreb

Begrundelsen for at introducere et nyt begreb var erkendelsen af, at naturen ikke længere "hviler i sig selv" og at de geologisk dannede ressourcer ikke er udtømmelige. Mennesket er blevet en kraft på linie med naturens geologiske kræfter; mange antropogene processer er hurtigere end de tilsvarende naturlige.

Miljøgeologi er ikke en ny geologisk gren, men en ny måde at udøve faget på: Et hovedemne er studiet af samspillet mellem mennesket og de geologiske processer: Faglig viden og metodik anvendes til beskrivelse og løsning af miljøforhold, ofte i form af geologiske bidrag til tværfaglige undersøgelser af de komplekse natursystemer. Noget nyt er, at det ikke alene drejer sig om at arbejde så fagligt kompetent som muligt, men at man derudover må have en holdning til de problemer, der arbejdes med og en samfundsmæssig ansvarsfø-

lelse; man kan sige, at den faglige udøven nu også har en etisk dimension.

Et slagord i den aktuelle miljøbebat er begrebet "bæredygtig udvikling", der blev lanceret af Brundtland rapporten "Vor fælles fremtid". Bæredygtig udvikling kan skabes, når man kender de enkelte jordsystemers grænser og kapacitet, dvs. bæredygtighed: Hvor hurtigt, hvor meget, hvilke grænser? Dette gælder ikke mindst de geologiske systemer og materialer (ressourcer).

Miljøgeologi som universitetsfag

Det holdt som bekendt hårdt med at få miljøgeologi anerkendt som et universitetsfag og det især ved Københavns Universitet. Miljøgeologi blev opfattet som en forurening af "rene" fag og som en opportunistisk medløben på miljøbølgen.

De første frivillige kurser blev i København afholdt i 1972 som en opfølgning af anbefalinger fra landsmødet året før. Først i 1975 blev miljøgeologi anerkendt som en del af fagområdet geologi 9, og i 1982 også som en del af geologi 1 med kurset "geologi og samfund". Det sidstnævnte kursus opfylder de krav til et orienterende kursus, som den markedsundersøgelse, der blev udført som en del af den i 1992 udførte evaluering af de danske geologuddannelser, efterlyste. Men et sådant kursus havde altså eksisteret i 10 år. I 1989 introduceredes en B.S.linie i miljøgeologi ved Københavns Universitet.

Hvor står vi nu?

Den geologiske forskning er på internationalt plan blevet en del af "big science" med pladetektonikteorien, måne- og planetforskningen, Ocean Drilling Programme (ODP), den europæiske geotravers, det nye europrobe-program, osv.

Men geologien er meget svagt repræsenteret i 1990ernes store internationale forskningsflådeskib: The International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP). Kun et af disse store programs kerneprojekter har et væsentligt indhold af geologi (PAGES, Past Global Changes). Den svage repræsentation gælder også på nationalt plan. Den oversigt over danske bidrag til IGBP, som blev udsendt i sommeren 1992, indeholder kun 5 geologiske bidrag, og slet ingen fra DGU, DTU eller Aarhus Universitet. Og det til trods for at megen geologisk forskning i Danmark f.ex. er rettet imod Past Global Changes.

Geologiske emner var også svagt repræsenteret på det store "Earth Summit" møde i Rio i juni 1992, ligesom tilfældet er i Brundtland rapporten.

Geologien har således internationalt som nationalt haft svært ved at markere sig på miljøområdet.

Hvad dansk geologi angår undrer man sig inden for andre dele af forskningssystemet over den beskedne danske deltagelse i f.ex. ODP og IGBP. En del af forklaringen på, at vi ikke er synlige nok udadtil, kan findes i geologi-evalueringens konstatering af, at universiteternes lærerstabe er overlæsset med undervisning og ikke har megen tid til rådighed til forskning. Sektorforskningsinstitutterne er på tilsvarende måde stærkt bundet af arbejdet med kortsigtede projekter.

Men der er også en tradition for at geologi i Danmark udøves som enkeltmandsforskning inden for afgrænsede specialer, "frimærkesamler-syndromet". Det er da svært at løsrive sig og reagere på aktuelle udfordringer, som f.ex. at bidrage til IGBP.

Moderne forskning foregår især i grupper, således som såvel forskningsrådene som grundforskningsfonden lægger op til. ODP og geotraversen er gode eksempler på betydning-

gen af forskning i grupper. Og miljøforskning er især specielt velegnet hertil på grund af den ofte tværfaglige karakter.

Aktuelle miljøgeologiske forskningsemner

Offentlighedens, herunder politikernes prioritering af indsatsen på miljøområdet er i høj grad bestemt af massemediernes behandling af emnerne, og er ikke nødvendigvis bestemt af, hvor hastende en indsats på et givet område bør være.

På miljøområdet har emner som drivhuseffekten og ozonhuller i dag højeste prioritet, som det f.ex. fremgår af Rio topmødet. Men bekæmpelse af grundvands- og havforurening har behov for en hurtigere indsats på grund af disse problemers akutte karakter. Der er grund til at glæde sig over, at disse forskningsområder har fået høj prioritet i Danmark, selv om prioriteringen også her i høj grad er præget af massemediernes omtale af problemerne, og programmerne derfor på grund af det offentlige tidspres næppe har fået den optimale form. Andre tilsvarende hastende forskningsopgaver på miljøområdet er:

- Jorderosion og ørkendannelse, jordbund tabes som følge af antropogene processer 5-10 gange hurtigere end den dannes. Fødevareforsyningen af jordklodens hastigt voksende befolkning kan derved blive bragt i fare.
- Ressourceudtømming er i gang på mange felter, et nyt resourcesyn er nødvendigt.
- De geokemiske kredsløb forstyrres antropogent, udforskning er højaktuel, det gælder både drivhusgasser og de biologisk vigtige kemiske forbindelser.
- Affaldsdeponering og -oparbejdning er et stedse mere aktuelt problem, set såvel ud fra arealmæssige, forureningsmæssige som ressourcemæssige betragtninger.
- Naturlige katastrofer er et problem i mange tætbefolkede egne af jorden. FN har erklæret 1990'erne som "The International Decade for Natural Disaster Reduction". Selv om vi er heldige at bo i et område, der hvad naturkatastrofer angår er meget fredeligt, bør også vi yde vore bidrag til forskningen på dette felt.
- A-kraft og deponering af radioaktivt affald. Selv om Danmark har meldt sig ud af dette felt, er der ingen garanti for, at A-kraft ikke igen vil få høj prioritet i en nærmere fremtid, idet man måske vil prioritere de miljø- og samfunds-mæssige fordele ved A-kraft højere end de tilsvarende ulemper.

Hvad er årsagen til bratte klimaændringer?

Den i 1992 afsluttede iskerneboring gennem Grønlands indlandsis har vist, at markante klimaændringer kan ske i løbet af en meget kort årrække. Mange forklaringer herpå er bragt i forslag:

Ændringer i atmosfærens indhold af CO₂ og andre drivhusgasser, evt. som følge af voldsomme vulkanudbrud eller hævnning af bjergarterne i bjergkæderne, som eksponerer friske bjergarter for angreb (og forbrug) af atmosfærens indhold af CO₂. I det første tilfælde bliver klimaet varmere, i det andet koldere.

Tektoniske processer, herunder pladetektoniske, kan ændre fordelingen af hav og land og havbundens topografi med det resultat at havstrømme kan skifte retning i løbet af meget kort tid. Dette kan få markante klimamæssige konsekvenser.

- På det mere overordnede plan vil kontinenternes geologiske tilstand bestemme de globale klimaforhold. I perioder med et udjævnet relief vil Jordens klima være ensartet; i perioder

med markante bjergkæder, som i dag, vil der også være markante klimabælter.

Disse eksempler viser, at der er opgaver nok for stort set alle dele af den geologiske forskning. Men en vigtig opgave for fagets udøvere er at fastslå: Hvor vil effekten af forskningen blive størst? Her kan indskydes, at de akkumulerede miljøproblemer i de østeuropæiske lande har et sådant omfang og så stor regional betydning, at en del af forskningen med fordel kunne sættes ind dér.

Over for dette står, at en betydelig del af den geologiske kapacitet i Danmark er bundet i rutineopgaver. Det er nødvendigt at synliggøre geologien mere end tilfældet er i dag, for at få lov til og midler til at gå ind i de nye forskningsopgaver. Deltagelse i ODP, IGBP og de andre miljøprogrammer inden for Norden og EF vil være vigtige led heri.

Den internationale geologiske union, IUGS, har taget denne udfordring op, dels ved at søge at få geologien bedre repræsenteret i IGBP, evt. i et samarbejde med UNESCO, dels ved at oprette en ny miljøgeologisk komité COGEO-ENVIRONMENT med Fr. Wolff fra Norge som formand. Disse initiativer bør støttes af dansk geologi.

Hvad kan der gøres?

- **Indadtil** må faget oprustes, debatmødet om dansk geologis fremtid på DGU i februar 1992 var en god begyndelse, der bør følges op, nu geologievalueringen er i hus. Der er behov for en dansk organisation for professionelle geologer.
- **Udadtil** er der behov for en række initiativer med henblik på at synliggøre geologien.

I USA tales f.ex. om offentlighedens manglende "Geological Literacy", dvs. mangel på almindelig geologisk dannelse hos befolkningen som helhed, hos andre fagfolk og ikke mindst hos politikere og andre beslutningstagere. Denne dannelse må bibringes via skoler og gymnasier, de højere uddannelser og massemedierne. Man har fundet frem til, at de vigtigste geologiske emner i dette dannelsesfremstød er:

Pladetektonikken og dens følger,
De geologiske/geokemiske kredsløbs betydning, sårbarhed, mm.
Udviklingsprocesser,
Materialer og ressourcer.

Vi er i Danmark godt i gang, men ikke langt nok. Det er glædeligt at geologien er kommet tilbage i gymnasiet. Dette bør ikke blot fastholdes, men forstærkes.

Og der er grund til at glæde sig over en række formidlingsinitiativer, såsom DGF-nyt for den snævrere kreds, Geologisk Nyt, som forhåbentlig har bud til en bredere kreds, DGU information, som informerer om vigtige aspekter af DGU's arbejde, årsrapporterne fra de to geologiske undersøgelser, osv. Derimod må man konstatere, at VARV, trods en mangeårig meget prisværdig og ihærdig indsats, ikke har vundet større offentlig opmærksomhed, muligvis fordi der er lagt for stor vægt på de ovenfor nævnte frimærkesamlertendenser i dele af den geologiske forskning.

Der er behov for bøger til brug i gymnasium og voksenundervisningen, og ikke mindst for et gennembrud i massemediene og her især fjernsynet. Der er i Danmark, i modsætning til mange andre lande, meget få programmer med geologisk indhold.

Der er nok at tage fat på, men jeg tror ikke at den nødvendige gennemslagskraft kommer, før en organisation for professionelle geologer er etableret. Det er derfor mit håb, at det snart må lykkes at samle kræfterne om denne opgave.

Abstract:

Sørensen, Henning: *Environmental geology in Denmark -retrospect and outlook*. The term environmental geology was introduced in Denmark in 1971 at the first (and so far only) Danish National Geological Conference. Environmental geology was described as a new way of applying geological knowledge and methods on problems of importance to local, regional or global communities emphasizing not only the best possible scientific solutions to the problems but also a sense of responsibility to the community in question and perhaps to the entire mankind. A thorough understanding of fundamental geological processes is a prerequisite for the creation and maintenance of the **sustainable development** advocated in the Brundtland report "Our Common Future".

The geosciences have in recent decades noted remarkable success in fields such as the establishment of plate tectonics, the exploration of Moon and planets, the Ocean Drilling Program, etc. But the geosciences dealing with the environment of the solid Earth have had less success in being integrated in for instance the International Geosphere-Biosphere Program (IGBP), internationally as well as in Denmark. This is partly a result of the priorities set by the politicians under strong influence of the treatment in the massmedia of for instance the environmental problems. This has resulted in the highest priorities being given to research on topics such as the green house effect and the ozone holes. But there is a number of other fields in which a not less urgent effort is needed. Examples are: soil erosion and desertification; pollution of ground water and surface waters; the geologically formed resources; the geological/geochemical cycles; waste and pollution problems; natural disasters; nuclear energy and deposition of nuclear waste; and the causes of abrupt climatic changes.

In Denmark as in other countries the funding of research is determined by the priorities set by the politicians under the influence of the public opinion expressed through the massmedia. It is therefore important to improve the "geological literacy" of the population, scientists in other fields, the massmedia, and not least the politicians, and also to improve the public visibility of the geo-sciences, in order to strengthen the geological influence on the decision-making processes.

Udvalgt litteratur

Brundtland-Kommissionens Rapport om Miljø og Udvikling (1987) Vores Fælles Fremtid. FN-Forbundet og Mellemlfolkeligt Samvirke, 360 sider.

COGEO-ENVIRONMENT (Commission on Geological Sciences for Environmental Planning of the International Union of Geological Sciences. Udsender Newsletter og har udgivet brochuren: Planning and Managing the Human Environment: The Essential Role of the Geosciences (1992, 13 sider). Adresse: Geological Survey of the Netherlands. P.O.Box 157, NL-2000 AD Haarlem, Holland.

Coates, D.R. (1981) Environmental Geology. John Wiley and Sons, New York. 701 sider + appendix

Den Danske Nationalkomite for Geologi (1989) Geologi - en videnskab i samfundets tjeneste. København. 72 sider.

Flawn, P.T. (1970) Environmental Geology - Conservation, Land-use Planning and Resource Management. Harper's Geoscience Series. New York, 312 sider.

Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar (1992) Referat af møde: The Past is the Key to the Future. Bd.114, side 367-382.

Geonytt (1990) Temanummer om Miljøgeologi. Årgang 17, nr. 4, 59 sider. Norsk Geologisk Forening.

Global Change - IGBP: Udsender Newsletter, og rapporter som f.ex. PAGES - Past Global Changes Project. Report no. 19, Stockholm 1992, 110 sider. I 1992 er udsendt brochuren: Global Change - IGBP Reducing Uncertainties, 40 sider. Adresse: The Royal Swedish Academy of Sciences, Box 50005, S 104 05 Stockholm.

Haxen, R.M. and Trefil, J.S. (1991) Achieving geological literacy. Journal of Geological Education 39, 28-30.

Henriet, J.-P. (1992) EAEG President's address, 54th EAEG Meeting Paris, 1 June 1992: Global change to global resources. First Break vol. 10, 290-292.

Knudsen, C. (1992) Geologiens fremtid i Danmark - sammenfatning af debatmødet på DGU 29.februar 1992. DGFnyt 92-3, side 18-23.

Knudsen, C. og Pedersen, J.L. (1992) Organisering af europæiske geologer. DGFnyt 92-5, 48-55.

Lumsden, G.I. (red) (1992) Geology and the Environment in Western Europe - a coordinated statement by the Western European Geological Surveys. Clarendon Press, Oxford, 325 sider.

National Advisory Board of Natural Sciences. Ministry of Education and Research: Review of Higher Education in Geology in Denmark. Undervisningsministeriet; København, 59 sider.

Naturligvis (1990 og 1992) Temanumre om Miljøforskning og Alle taler om vejret. Naturvidenskab fra Københavns Universitet.

Nordisk Ministerråd: Temahefter i Miljølære:

Strömquist, L. (red) (1987) Geocology of the Developing World and the Role of the Earth Scientist in the Development Process. TAPIR, Trondheim, 110 sider.

Willumsen, A. (red) (1987) Geodata i Planlægningen. TAPIR, Trondheim, 140 sider.

Terra nova (1992) Global Change Special Issue. Terra nova vol.4, 3.

Nye gymnasiebøger:

Dansgaard, W. (1987) Klima, vejr og menneske. Geografforlaget, 128 sider.

Krüger, J. (1989) Gletscheren og landskabet i nutid og istid. Gyldendal, 77 sider.

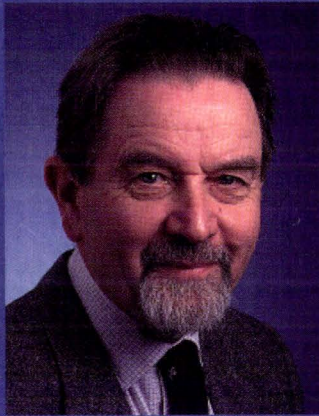
Sørensen, H. (1989) Råstoffer - forekomst, forarbejdning, forbrug, forsyning i fremtiden. Geografforlaget, 134 sider.

Inviterede deltagere udefra:

1. Niels Abrahamsen (ÅU)
2. Lars Skov Andersen (Cowi)
3. Steen Andersen (SNS)
4. Gert Asmund (Grønlands Miljøunders.)
5. Asger Berthelsen (KU)
6. Jan Bondam (GGU)
7. Bjørn Buckhart (KU)
8. Leif Carsrud (Lund)
9. Willi Dansgaard (KU)
10. Leo Elgaard (Amtsrådsforen.)
11. Martin Ghisler (GGU)
12. Claus Hammer (KU)
13. Poul Hoffseth (Norge)
14. Erik Schou Jensen (Geol.Mus.)
15. Kunzendorff (Risø)
16. Gunnar Larsen (ÅU)
17. Leo Larsen (VKI)
18. Ole Larsen (KU)
19. L. Løvborg (Risø)
20. Lotte Melchior (GGU)
21. Bjarne Leth Nielsen (DOPAS)
22. Hans Pauly (DTU)
23. Asger Ken Petersen (Geol.Mus.)
24. Ole W. Petersen (Geol.Mus.)
25. K. Ellitsgaard Ramussen (GGU)
26. John Rose-Hansen (KU)
27. Steiner Skjeseth (Norge)
28. Agnete Steinfeldt (GGU)
29. Emil Sørensen (Risø)
30. Arne Villumsen (DTU)
31. Niels Henriksen (GGU)
32. Erling Bondesen (RUC)
33. Finn Surlyk (KU)
34. Bo Brix (SNS)

Deltagere fra DGU:

1. S. Th. Andersen
2. Claus Andersen
3. L. J. Andersen
4. Ole Berthelsen
5. Niels Peter Christensen
6. Ole Winther Christensen
7. Arne Dinesen
8. Johnny Fredericia
9. Jens Morten Hansen
10. Erik Heller
11. Stefan Hultberg
12. F. Lyngsie Jakobsen
13. Henning Kristiansen
14. Birger Larsen
15. Carsten Langtofte
16. Bjarne Madsen
17. Ib Marcussen
18. Naja Mikkelsen
19. A.V. Nielsen
20. Erik Stenestad
21. Jens Stockmarr
22. Bent Søndergaard
23. Erik Thomsen
24. Knud Binzer
25. Leif Banke Rasmussen
26. Niels Viggo Jessen
27. Kurt Klitten



Henning Sørensen sammenknyttede allerede i begyndelsen af 70`erne geologi og miljø, hvor han bl. a. på Københavns Universitet introducerede begrebet "Miljøgeologi".

Geologi og miljø er siden og ikke mindst i disse år, kommet mere og mere i fokus. Det skyldes bl. a. en voksende forståelse for betydningen af kendskabet til materialer og processer i den yderste del af jordskorpen.

Denne viden er en væsentlig forudsætning for at kunne foretage relevante og nødvendige forholdsregler i forbindelse med en forsvarlig og bæredygtig udnyttelse og beskyttelse af jordens naturressourcer. Bogen rummer en række artikler, der bl. a. skildrer geologiens betydning i miljøhistorisk sammenhæng.