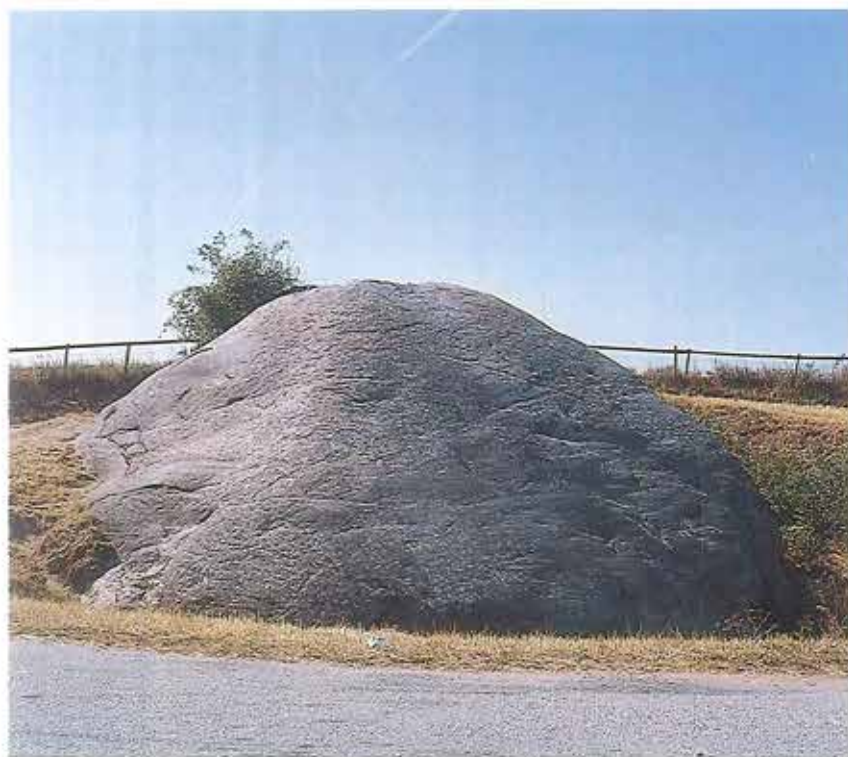




Hesselagerstenen, også kendt under navnet Dammostenen eller Damestenen, på Fyn er Danmarks største vandreblok, transporteret hertil fra Sverige i løbet af Istiden. Hesselagerstenen vejer omkring 1000 tons, den har en omkreds på 46 meter og er ca. 12 meter høj.

I følge gamle sagn skal Hesselagerstenen være kastet af en jætte fra Langeland mod Svindinge Kirke, der ligger nordvest for Hesselager, men så langt nåede den altså ikke. Inde i bladet er der en artikel om olistolither, og Hesselagerstenen kan da også med rette kaldes en olistolith.

VARV

NR. 2 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1986



AKTIVITET PÅ EN BOREPLATFOM I DEN DANSKE DEL AF NORDSØEN. GEOLOGEN ER MED, NÅR DER LEDES EFTER OLIE OG GAS, MEN OPGAVEN ER IKKE SLUT, NÅR FOREKOMSTEN ER FUNDET. DER ER STADIG VÆK MEGET AT UNDERSØGE OG HOLDE REDE PÅ. MEDENS OLIE PUMPE OP EN OLIEGEOLOG FORTÆLLER HEROM.

VI SER OGSÅ PÅ GEO-ELEKTRISKE MÅLEMETODERS ANVENDELSE I RÅSTOFKORTLÆGNINGEN I DANMARK. OLISTOLITHER ER BETEGNELSEN FOR DE RIGTIGT STORE RULLESTEN - HVORDAN DANNES DE OG HVOR STORE KAN DE BLIVE? ENDELIG FORTÆLLER VARV OM BAGGRUNDEN FOR DEN VULKANSKE AKTIVITET I NÆRHEDEN AF ALASKA, OG OM NYT FRA JORDENS DYBESTE HUL.

Tur til Grønland ?

Har du 17.500 kr for meget, og ved du ikke, hvad du skal foretage dig fra den 10. juli til den 15. juli, og er du interesseret i geologi, så skulle du kontakte Grønlands Rejsebureau, Gammel Mønt 12, 1117 København K (01 13 10 11).

Grønlands Rejsebureau arrangerer i det nævnte tidsrum en 6-dages ekspedition med båd, fly og helikopter i Godthåb-området. Et af ekspeditionens vigtige punkter bliver Jordens ældste bjergarter, der netop findes omkring Godthåb. Turen i Grønland ledes af en professionel geolog, der har indgående kendskab til området.

Prisen omfatter alle udgifter regnet fra afrejsen fra Kastrup 10. juli til hjemkomsten hertil igen 15. juli om aftenen - bortset fra lommepenge.

Bureauet sender dig gerne et program med detaljerede oplysninger.



Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Centralinstitut, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Telefon: 01 11 22 32

Kontor: Anita Ege, mandage 9-16. Andre dage kan henvendelse ske til Steen Sjørring på samme telefonnummer.

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Asger Berthelsen, Jens Konnerup-Madsen, Svend Pedersen, Steen Sjørring og Sven Laufeld (Sverige).

Renskrift: Gitte Sjørring
Montage: Steen Sjørring, Svend Pedersen og Jens Konnerup-Madsen
Repro: Vest-Scan a/s, Esbjerg
Tryk: Johnsen & Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 60 kr i abonnement i 1986. Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV. Postgiro 9 06 88 80 eller 50 SKr til VARVs svenske postgirokonto 4388-5.

Adresseændringer eller fejl ved bladets levering bedes meddelt postvæsenet.
© 1986 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter aftale.

udbrud i maj 1980, og den mexikanske vulkan Chichon, der havde et kraftigt udbrud i 1982. På grund af de meget store ødelæggelser denne familie af vulkaner kan forårsage og den uberegnelighed i udbrudsmønstre disse tilsyneladende evigt sovende vulkaner udviser, lægges et stort arbejde i bedre at kunne forudsige sådanne udbrud. En senere VARV artikel vil fortælle mere herom.

LÆSERSERVICE

KONTAKTANNONCE FOR AMATÖRGEOLOGISKE FORENINGER

VARV modtager jævnligt forespørgsler fra interesserede om eksistensen af amatørgeologiske foreninger i de forskellige egne af landet. For at lette disse interesserede vejen og bedre kontaktmulighederne mellem landets forskellige amatørgeologiske foreninger planlægger VARV i de næste numre at bringe en oversigt over sådanne foreninger og beder derfor bestyrelse eller lignende om at indsende navn og adresse på foreninger. VARV kunne endvidere - i det omfang en udsendelse 4 gange om året berettiger til det - tænke sig at bringe meddelelser om møder, stenmesser, ture og lignende.

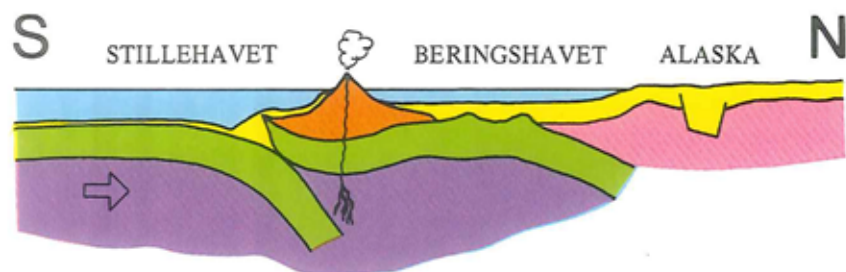
ARKÆOLOGI OG GEOFYSISKE SPORINGSMETODER

Working Papers vol 14, Nationalmuseet, 1985. ISBN 87-480-0574-6.

Redaktion: Jens Tyge Møller, Mogens Schou Jørgensen & Jytte Høstmark.
216 sider, illustreret, pris: 150 kr incl. moms.

Selv om geofysiske undersøgelsesmetoder normalt hører hjemme inden for de geologiske discipliner, har de vist sig også at være nyttige inden for arkæologi. Bogen beskriver: modstandsmålinger (geo-el), georadarmålinger, magnetometermålinger, anvendelse af metaldetektorer til lands og til vands samt forskellige former for ekkolodmålinger. Metodegennemgangen er forklaret på en let tilgængelig måde, og de enkelte måletyper er dernæst belyst ved en række faktiske eksempler. Hvert afsnit følges op med et engelsk resume og litteraturliste. Det er en spændende og lærerig bog, forfattet af mennesker, der i deres praktiske virke er blevet mange erfaringer rigere, hvilket fremgår af sætninger som: 'Under måleforløbet må basispunktet ikke kunne forstyrres for eksempel af nærliggende trafik, parkering af biler eller nysgerrige, omend velmenende personers flakken omkring'. - man erindrer en spildt uge på grund af et kompas i den ene lomme og en belysningsmåler i den anden. Havde man dog bare læst denne bog først.

Steen Sjørring



Nord-syd gående snit gennem Aleuter-øbuen. Stillehavspladen dykker fra syd ned under oceanbunden under Beringshavet. Denne neddykning (subduktion) er årsag til dannelsen af de bjergartssmelter, der trænger op og danner Aleuternes vulkaner. Stillehavspladen bevæger sig ned under Beringshavet med en hastighed af 5-6 cm om året. Oceanbundsskorpe er vist med grønt, vulkandannelser med orange, kontinentsskorpe med rødt, og sedimenter med gult.

med en mægtig eksplosion, der kunne høres i byerne Juneau, 1200 km mod øst og Dawson, 1046 km mod nord på den anden side af Alaska bjergkæden. Den næste kæmpe-eksplosion fandt sted om aftenen kl. 23, og en tredje knap 24 timer senere om aftenen 7. juni. Hovedparten af de godt 28 km³ aske menes at være blevet slynget ud i forbindelse med disse 3 eksplosioner. Denne kraftige eksplosive aktivitet hørte op om aftenen 8. juni, men mindre eksplosioner fandt sted gennem resten af sommeren. Efter udbruddet fandt besøgende geologer, at toppen af Katmai bjerget var sprængt bort og havde efterladt et kæmpebassin med en diameter på 4.8 km og mellem 610 og 1128 m dybt. Kort efter udbruddet indhylledes hele området i en tæt sky af aske, der i byen Kodiak 100 km væk skabte total mørke i mere end 48 timer. Asken slyngedes som fint støv højt op i atmosfæren og skabte en rødlig farvedis, der i ugerne efter udbruddet observeredes så langt væk som i Algier. I forbindelse med udbruddet blev en mindre boplad i nærheden begravet ligesom en del landområder blev gjort ubeboelige. På grund af den påbegyndte evakuering og den lave befolkningstæthed i området menes mirakuløst nok ingen mennesker at have mistet livet som et direkte resultat af udbruddet.

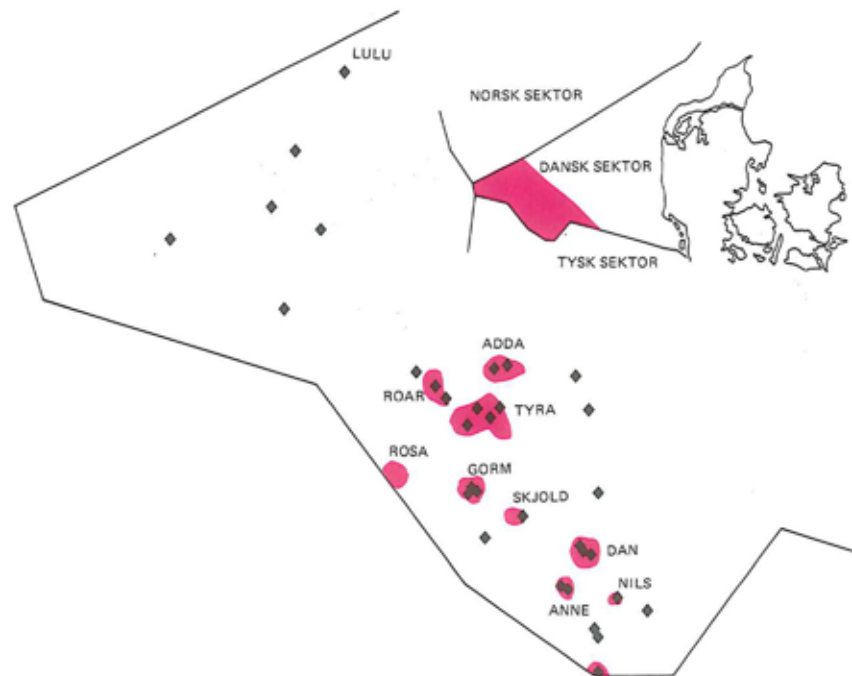
Katmai vulkanens meget eksplosive udbrudsform er karakteristisk for en del af de vulkaner, der findes i bæltet af vulkan-områder rundt om Stillehavet. Vulkanen Nevado del Ruiz i Columbia, der 13. november 1985 kom i udbrud og førte til een af de største vulkanologiske katastrofer i dette århundrede, med mere end 20.000 døde, titusinder af sårede og hjemløse, tilhører samme familie af såkaldte andesitiske vulkaner som Katmai og andre Aleutiske vulkaner. Andre medlemmer af samme familie er vulkanerne St. Helens, der var i

En oliegeologs arbejdsfelt

af Nick Svendsen

Det er nu 16-17 år siden, at den første danske olieproduktion startede fra Danfeltet i Nordsøen, og siden er yderligere 2 olie-felter samt 1 gasfelt kommet til. Igennem årene har en lang række geologer arbejdet med disse felter, både i A. P. Möllers og det offentlige regi. Men hvad er det egentlig for et arbejde, disse oliegeologer udfører, når selve olie- og gasfeltet er fundet?

Når et olie- eller gasfelt er fundet, er det oliegeologens første opgave at kortlægge olie/gaszonens (reservoirets) udbredelse samt at beskrive selve reservoirets geologiske egenskaber. I dette arbejde indgår geologen i et team med geofysikere og ingeniører, som alle arbejder med samme mål for øje, at optimere olieproduktionen. I det følgende omtales nogle af de metoder, som oliegeologen anvender, samt noget om de problemer, man kan støde på i forbindelsen med etableringen af et olie- eller gasfelt:



Figur 1. Olie- og gasboringer i den sydvestlige del af den danske sektor i Nordsøen. Med rødt er angivet nogle af de producerende felter.

Produktionen starter

Når det er besluttet, at et olie- eller gasfund skal udnyttes, starter selve produktionsprocessen med at bore produktionsboringer og installere et oparbejdningsanlæg, uanset om forekomsten er på land eller til havs. Geologen er selvfølgelig ikke involveret i konstruktionen af disse produktionsanlæg, men er dog ikke uden arbejde i denne periode. Medens platform og anlæg bygges, foretages nemlig de første indvindingsboringer, så alt er klart og de dyre produktionsanlæg kan udnyttes, så snart de er færdige.

Efter at produktionen af olie eller gas er begyndt, vil det hurtigt ske, at trykket i reservoiret falder, og det betyder også, at den producerede mængde olie falder. Det er derfor tit nødvendigt, at udføre nye boringer for at opretholde produktionen i fuldt omfang. I Dan-feltet borede man for eksempel først 6 produktionsboringer, inden feltet blev taget i brug i 1972. Efter nogle år blev



Figur 2. Olieplatform i Gorm-feltet.

yderligere 2 platforme installeret med hver 6 nye boringer, men efter kort tid blev flere af disse 18 boringer opgivet igen, og atter nye blev boret. Inden for det sidste år er man gået i gang med at installere endnu 2 platforme, hvorfra i alt 24 nye huller skal bores.

Borearbejdet er igang

Når en boring udføres, vil der ofte være en geologisk trænet person til stede, og det er geologens opgave at beskrive de bjergartsfragmenter (cuttings), der kom-



Aleuterne består af en perlerække af mere eller mindre aktive vulkaner (rødt), der strækker sig fra Alaska i øst til Kamtjatka i vest. Aleuterne udgør den nordligste del af den kæde af aktive vulkanområder, der under navnet 'Stillehavets ring af ild' strækker sig rundt om hele Stillehavet (se det indsatte kort, med vulkanområderne vist i rødt).

vulkansk materiale blevet slynget op ved vulkanudbrud, idet hovedparten af materialet stammer fra blot nogle få af de 80 vulkaner i området. Den største og mest berømte af Aleuternes vulkaner er Mt. Katmai, der ligger kun 50 km syd for Augustine.

Den 6. juni 1912 fandt et af verdens kraftigste vulkanudbrud sted fra en vulkan dannet ved foden af vulkanbjerget Mt. Katmai. Aske og pimpsten svarende til mere end 28 km^3 slyngedes ud og et område på mere end 60.000 km^2 blev dækket af et askelag på mellem 3 og 12 cm's tykkelse. Flere km^3 aske og pimpsten dannede askestrømme og laviner. Disse 'floder af sand', som de tidligere observatører i området kaldte dem, strømmede mere end 20 km ned gennem en nærliggende dal, som de fyldte til en højde af mere end 120 m. Denne dal er kendt under navnet Valley of Ten Thousand Smokes på grund af de tusinder af gasudstrømninger (fumaroler), der fandt sted fra overfladen af de vulkanske aflejringer, og som afgav vanddamp og andre gasser i mange år.

Katmai havde ikke tidligere i historisk tid været i udbrud og var een af Alaskas mindst kendte vulkaner. De første tegn på udbruddet startede omkring 1. juni med en række mindre jordskælv, der advarede den spredte befolkning i området om, at noget var i gære og som betød, at evakuering allerede var igang da selve udbruddet startede 6. juni kl. 1 om natten. Vulkanudbruddet startede

ALEUTERNE en vulkansk øbue

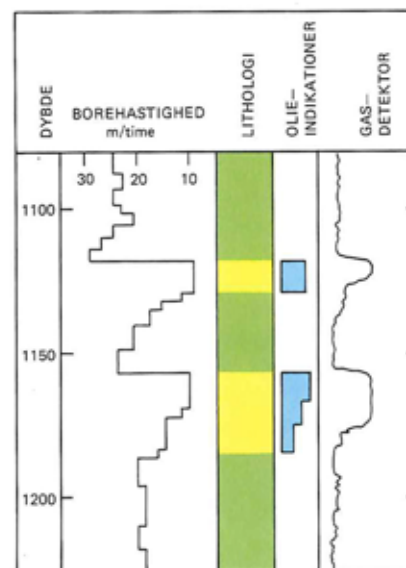
af Jens Konnerup-Madsen



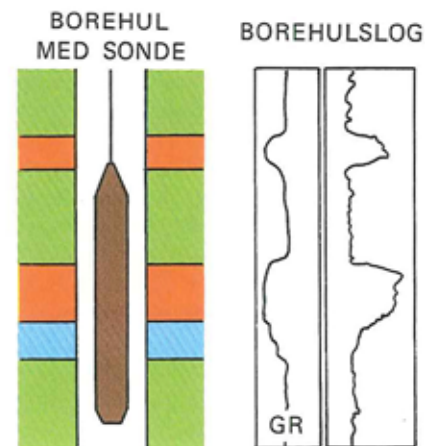
I slutningen af marts i år dukkede vulkanen Augustine i Alaska for første gang op i de danske avisers spalter. Grunden var, at den 1228 m høje vulkan på øen Cook omkring 285 km sydvest for byen Anchorage kom i udbrud og sendte en sky af aske mere end 15 km op i atmosfæren. Askeskyen bredte sig over et større område og lammede i nogle få dage lufttrafikken i den sydlige del af Alaska. I Anchorage opfordredes folk med åndedrætsbesvær til at holde sig inden døre, ligesom postbudene måtte bære masker under omdelingen af post. Vulkanen tabte dog hurtigt pusten og forsvandt hurtigt igen ud af mediernes bevågenhed. Augustine er dog en typisk repræsentant for en type af vulkansk aktivitet, der indenfor de senere år har medført store ødelæggelser flere steder i verden, så det er måske alligevel besværet værd at se lidt nærmere på Augustine's nærmeste familie.

Augustine er en af de vestligste vulkaner i den mere end 2800 km lange øbue, Aleuterne, der strækker sig fra Alaska i øst til Kamtjatka i vest, og omfatter mere end 150 øer, hvoraf langt de fleste er af vulkansk oprindelse. Langs sydsiden af øgruppen ligger Aleuter-graven, der er en dybhavsrende med en dybde fra godt 5000 m i øst til over 7800 m i vest. Kombinationen af en vulkanrække og en dybhavsrende er karakteristisk for den type af vulkansk aktivitet, der er knyttet til neddykning (subduktion) af en oceanbundsplade under en anden oceanbund eller et kontinent, og hvis vigtigste vulkanske produkter udgøres af bjergarterne andesit og basalt. Aleuterne er faktisk den nordligste del af en ring af vulkanske områder omkring Stillehavet, den såkaldte 'Stillehavets ring af ild', der alle har deres oprindelse i nedbukning af Stillehavs-oceanbundspladerne under andre plader.

Aleuter-øbuen omfatter ialt omkring 80 vulkaner, af hvilke 30-40 vides at have været aktive i historisk tid. Dannelsen af dybhavsrenden og neddykningen af Stillehavspladen ved Aleuterne begyndte for ca. 70 millioner år siden, og øbuen som vi ser den i dag er resultatet af mange perioder med vulkansk aktivitet siden da. Indenfor de sidste par millioner år er mere end 5000 kubikkilometer



Figur 3. Eksempel på 'mudlog'. Resultaterne af undersøgelserne af boremuddret fra de forskellige boreddybder er vist sammen med lithologien af de lag, der gennembores. Med grønt er angivet skifre, med gult sandsten.



Figur 4. Logging af et borehul med målesonde. Resultaterne af måling af lagenes naturlige radioaktivitet (GR) og deres elektriske modstand er vist til højre. De røde og blå farver angiver henholdsvis olie- og vandførende lag, mens den grønne farve er skiferlag.

mer op til overfladen sammen med boremuddret (det muddervand, der pumpes ned i borehullet gennem borerøret for at smøre og afkøle borekronen, og som samtidig forhindrer, at borehullet presses sammen). Beskrivelsen af de bjergartsfragmenter, der kommer op (den lithologiske beskrivelse), afsættes som en funktion af boreddybden på en såkaldt 'mudlog'. I dette diagram angives endvidere, om boremuddret indeholder olie og/eller gas, når det kommer op igen, for muddret indeholder nemlig hverken olie eller gas, når det pumpes ned i borehullet. Olie eller gas i det muddet, der kommer op, må derfor stamme fra

et reservoir. Medens olie i boremudderet som regel kan ses direkte, så spores eventuelle gasser med en detektor. Desuden undersøges bjergartsfragmenterne også under ultraviolet lys, idet olie vil lyse op (fluorescere), og derved vise selv en meget meget lille mængde olie i bjergarten. Endelig kan olie også udtrækkes til analyse fra bjergarten ved hjælp af organiske opløsningsmidler. På 'mudloggen' angives borehastigheden også, idet bjergarter, der indeholder kulbrinter, ofte er blødere end de omgivende lag, så borehastigheden stiger tit, når man borer i reservoirbjergarterne.

En 'mudlog' vil normalt være den første rapport, der viser, om en boring er gået igennem en olie- eller gaszone, og i oliegeologiens barndom var 'mudloggen' faktisk den eneste form for information, geologen havde. I begyndelsen af 20'erne og 30'erne begyndte en fransk ingeniør, Schlumberger, - for at øge mængden af oplysninger fra de forskellige dybder - at foretage elektriske målinger ved hjælp af en sonde, der blev sænket ned i borehullet i enden af et kabel. Siden er denne metode blevet kraftigt udviklet, og i dag foretages en lang række forskellige typer af sådanne borehulsmålinger, der hjælper geologen i arbejdet.

Der foretages hyppigst 3 typer af målinger: radioaktive målinger, elektriske modstandsmålinger og lyd målinger. Målingerne finder sted medens sonden med måleapparat langsomt trækkes op gennem borehullet. Resultaterne registreres på magnetbånd, og via en computer kan måleresultaterne senere udtegnes i forhold til dybden i borehullet, en såkaldt borehulslog. De *radioaktive målinger* viser noget om porositeten i bjergarten, det vil sige, hvor stor del af reservoiret, der er porer/hulrum, hvori der eventuelt kan være olie eller gas. Kender man dette tal, kan man, hvis også den elektriske modstand i bjergarten (målt ved hjælp af de *elektriske modstandsmålinger*) er kendt, beregne, hvor stor en del af porerne, der er fyldt med olie, gas eller vand. Da de forskellige målinger i borehullet foretages med en nøjagtighed i dybden på mellem 20 og 40 cm, kan man ret nøjagtigt udpege gas- eller olie zoner på baggrund af en sådan borehulslog. Dertil kommer, at det på baggrund af de *radioaktive måleresultater* er muligt at skelne mellem for eksempel kalksten, sandsten skifer og salt. *Lyd målinger* bruges især af geofysikerne til tolkning af de seismiske data. Alt i alt er der tale om en række værdifulde oplysninger, som geologen kan få fra borehulslogging, til gengæld er prisen for disse informationer også meget høj.

Undertiden finder der også kerneboring sted. En borehulskerne er en bjergartsprop med en diameter mellem 5 og 15 cm og op til 30 meters længde. Den udføres med et diamantbor, der - i modsætning til de traditionelle rullebor - er hult, og som derfor ikke knuser bjergarten ned til 'cuttings' ved boringen. Borekernen føres op i et hult rør, der ligger inde i selve borestammen. Sammen med boreloggene er kernerne den vigtigste form for oplysninger, man kan få om reservoirbjergarterne. Desværre er det endnu dyrere at kernebore end at foretage borehulslogging, så derfor kernebores der kun i ganske få boringer.

blev bragt for lyset. På den måde erstatter naturen os historiebogen ...» (18).

Og allervigtigst - under boringen fandt man i de forskellige lag en lang række forsteninger - af søpindsvin, blæksprutter, hajer, hvaler, elefanter, sølever, foruden alle mulige træer og planter.

Jeg er også geolog

På sine tidlige italienske rejser i 1680'erne havde Leibniz haft lejlighed til at omgås den danske anatom og geolog Niels Steensen, en af periodens mest geniale og ansete videnskabsmænd. Mødet med Steensen i Firenze overbeviste straks den altid modtagelige Leibniz om, at han også var geolog. Leibniz fulgte Steensen på hans vandringer i Toscana, hvor han indså rigtigheden af Niels Steensens antagelse af de geologiske lag som en afspejling af tidsforløbet (21).

Troens kamp mod videnskaben rev ham op

Niels Steensen

Niels Steensen, hvis undersøgelser blev en af inspirationskilderne for Leibniz' teori om jordens tilblivelse, står i dag som den moderne geologis og palæontologis grundlægger.

Når en anatom ser på sten

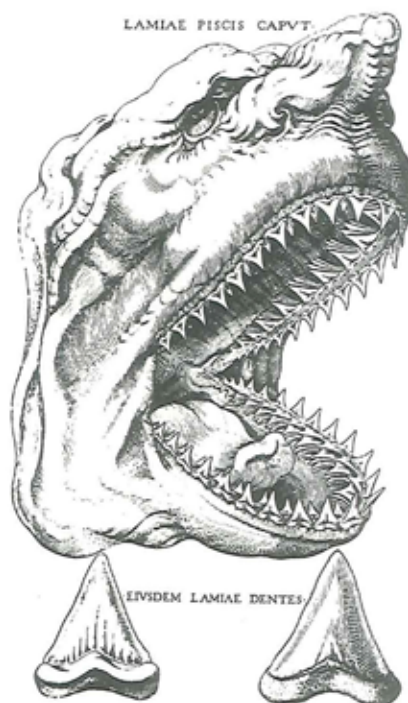
Det var netop Steensens træning og erfaring som anatom, der blev udslagsgivende for palæontologien. I 1666, da Steensen i Firenze, hvor han var tilknyttet akademiet, ivrigt arbejdede på sin afhandling om muskellæren, fangede man udenfor Livorno en kæmpemæssig haj. Fra udgravninger havde man længe kendt til et fænomen, man kalder glosso-petra (af latin Glossa, tunge og Petra, sten) - tungesten, og flere forskere havde allerede da formodet, at der var tale om forstenede hjattænder. Hajhovedet, som

Steensen straks sørgede for at få tilsendt, overbeviste ham om, at tungestenene simpelthen ikke kunne være andet end forstenede hjattænder, og analogt kunne han ikke undgå at slutte, at en række andre udgravede dyrelignende former virkelig er forsteninger af dyr, der engang har levet (22).

Hannibals elefanter

Lidt pudsigt må det vist forekomme i dag, at det netop var Niels Steensen, der foreslog, at de forstenede rester af elefanter, som man fandt i Arno-dalen, stammede fra Hannibals felttog i 3. århundrede f.Kr. Men hvis vi gør os klart, at

22. »Tungesten« (petroglossae), dvs. forstenede hjattænder sammenlignet med nutidigt hajhoved. Fra Steensens *Carcharias*-traktat.



Anmeldelse:

NATURENS HISTORIE FORTÆLLERE 1-2

1. Fra Platon til Darwin

Redigeret af *Niels Bonde, Jesper Hoffmeyer og Helge Stangerup.*

Gad 1985. 2 bind, hvert med 384 sider, illustreret, samlet pris: 696 kr.

Selv om vi ikke tænker over det til daglig, er det klart, at videnskab, idehistorie og forskerne er uløseligt bundne i et kompliceret samspil gennem tiderne. Med det afsatte sideantal ville det ikke have været muligt at skildre samtlige naturvidenskabelige tanker og deres ophavsmænd, og ideen at skildre *udviklingstanken* fulgte et møde på Københavns Universitet, hvor Peter Wilhelm Lund blev diskuteret.

Danskeren P.W.Lund (1801-1880) var bosat i Brasilien, hvor han i drypstenshuler udgravede knogler fra en rig pattedyrfauna. Hans skæbne er mesterligt fortalt af Stangerup i "Vejen til Lagoa Santa" - godt stof!

Nuvel - for første gang foreligger et samlet værk om udviklingsideen, og redaktionen har kun stillet en betingelse til medarbejderne: værket skulle skrives for 'et alment interesseret publikum'. Det er - og har ikke været nogen let opgave. Historiens videnskabelige rolleliste er meget omfattende, og følgelig kan birollerne kun få en sparsom omtale, mens lederskikkelserne med rette optager meget plads.

Resultatet bliver en noget uensartet fremstilling, men i det store hele fortælles gode historier - krydret med tidstypiske illustrationer, desværre i en del tilfælde i en alt for ringe gengivelse, der misklæder bogen.

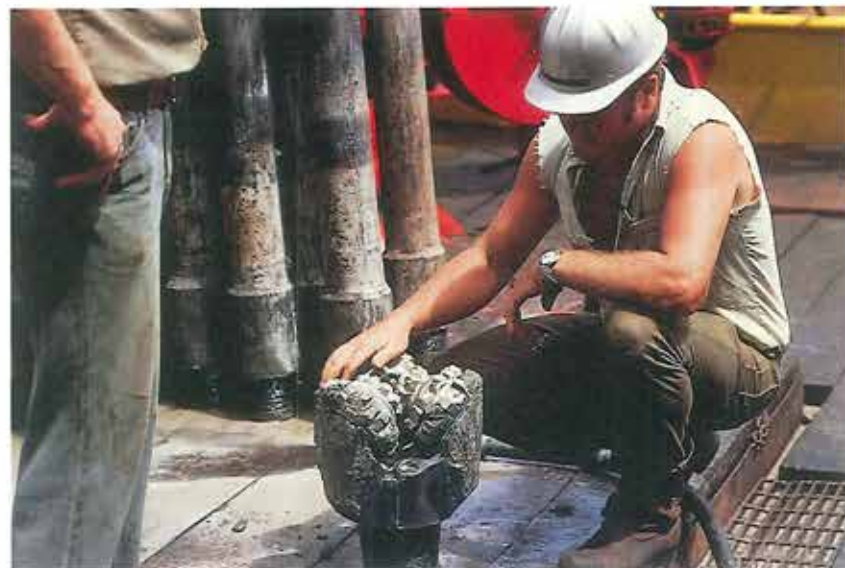
Til trods for en levende beretningsform er siderne spækket med information - mon ikke flertallet af læsere vil snuppe mindre bidder ad gangen, eller benytte bogen som opslagsværk. I den sammenhæng kan de fyldige litteraturhenvisninger efter hvert kapitel og registre i bind 2 være af stor værdi.

Anmelderen finder, at værket må have bud til alle biologer - ja, alle naturvidenskabsmænd, og hvorfor ikke til mange amatører og andre med interesse for den side af vor fælles kulturarv.

Udviklingen eller evolutionen havde ikke samme mening for Antikkens filosoffer som for Darwin, og derfor kommer bind 1 egentlig vidt omkring i naturhistorien. Med Darwin blev diskussionen i mange henseender mere stringent, og i bind 2 vil læserne få lejlighed til at følge temaet op til i dag. Nøgleord er: neodarwinisme, artsbegrebet, zoologisk adfærdsvidenskab, biologiske synsvinkler på mennesket og samfundet, 'social-darwinisme', 'sociobiologi' og moderne bioteknologi, - det skærper forventningerne.

Valdemar Poulsen

For at give et indtryk af stilen i det nye værk gengives her et par spalter (højre spalte fra side 107 og venstre spalte fra side 108). Bemærk, at gengivelsen er reduceret noget i størrelse (original spaltehøjde er ca. 20 cm).

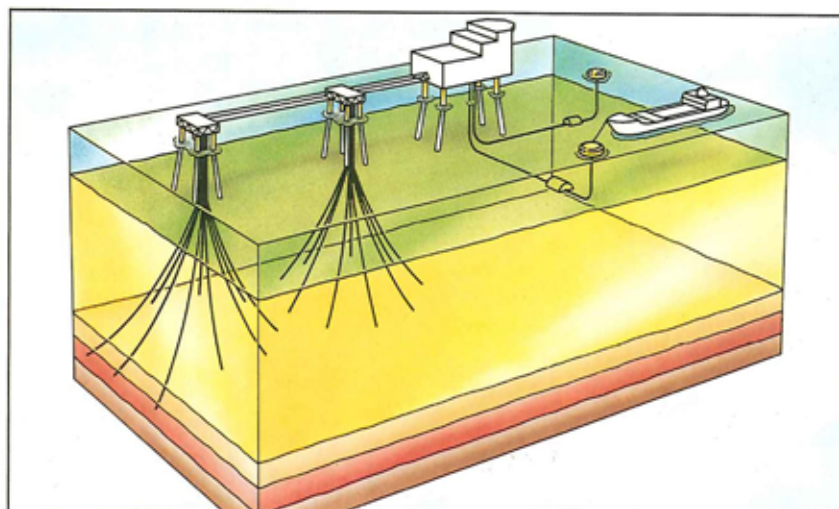


Figur 5. En borekrone.

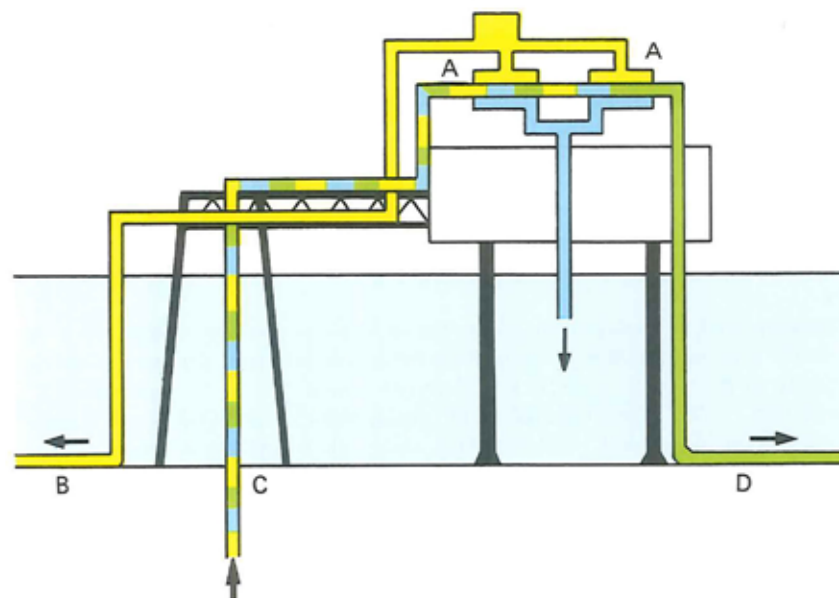
Behandling af de indsamlede data

Når geologen har beskrevet borekernerne og eventuelt foretaget analyser på mindre 'propper' af kernen, for blandt andet at få oplysninger om bjergartens porevolumen og permeabilitet (permeabiliteten er et mål for bjergartens evne til at lade væske eller gas strømme igennem), sammenholdes resultaterne med de forskellige logs og overgives til reservoiringeniørernes beregninger. Men ud fra den samlede geologiske beskrivelse er det desuden muligt, at identificere de forskellige geologiske zoner, der er registreret på de elektriske logs fra borehullerne.

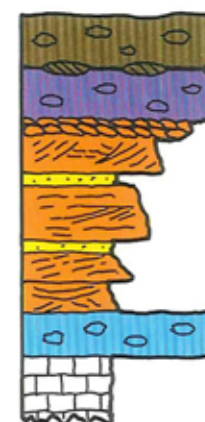
Samtidig med at geologen ser på kerner og logs arbejder geofysikeren på at udarbejde kort på grundlag af indhentede seismiske målinger, der viser dybden til toppen af reservoiret, og dette kort benyttes - sammen med de geologiske informationer - i den videre behandling af resultaterne. På dette tidspunkt kommer reservoiringeniøren ind i billedet. Han koder alle informationer ind i en computer for at simulere, hvordan produktionen af olie og gas fra feltet vil forløbe. På grundlag af disse beregninger og modeller er man bedre i stand til at planlægge de fremtidige aktiviteter og investeringer. Da enhver simulering ikke er bedre end de data, den er baseret på, er det meget vigtigt, at den geologiske beskrivelse og model for olie- eller gasfeltet er så god som overhovedet muligt, og efterhånden som flere data kommer ind i forbindelse med udnyttelsen, bliver de geologiske beskrivelser og modeller bedre og mere dækkende for de faktiske forhold.



Figur 6. Blokdigram, der viser et indvindingsområde til havs.



Figur 7. Skitse af et produktionsanlæg til havs. Blåt er vand, grønt er olie og gult er gas. A er separatorer, hvor olie, gas og vand adskilles, B er en gas-pipeline, C er en produktionsboring, og D er en olie-pipeline.



Moræne afsat af is fra SØ
Niveau for deformationer fra en is fra ØNØ
Moræne afsat af en is fra NØ

'Himmelev formationen', smeltevandsgrus og -sand
aflejret af vand, som strømmede fra nord mod syd.

Gråblå moræne fra næstsidste istid

Tertiær kalksten

Figur 6. Skematisk lagsøjle fra Himmelev området.

bloklag, men kan dog efter nærmere studier opdeles i en række enheder, der hver for sig viser en aftagen i kornstørrelse opad, inden for den enkelte enhed. Samtidig med, at de enkelte enheder bliver grovere og grovere opad, er der også en tendens til, at kornstørrelsen inden for den enkelte enhed generelt vokser mod nord. Lagene ligger for det meste vandret, og stenene i de enkelte lag ligger tit som tagsten, hvilende på hinanden, hvilket viser, at smeltevandsstrømmen, som afsatte lagene, strømmede fra nord mod syd i et flodsystem i en afsmeltende is.

Smeltevandets strømretning og stenindholdets sammensætning i de afsatte lag tyder på, at sand- og gruslagene er dannet i forbindelse med afsmeltningen af en 'norsk is', hvorefter der er en del spor i Nordsjælland. Over sand- og gruslagene findes stedvis en sandet moræneler. De aflange stens retning i denne moræne viser, at morænen formodentlig er afsat under et gletscherfremstød fra nordøst, og de isfrembragte forstyrrelser i den underliggende 'Himmelev formation' tyder også på en isoverskridelse fra denne retning. Der synes også at være spor efter yngre deformationsstrukturer fra en østlig-østnordøstlig retning både i sand- og gruslagene og i den dækkende moræne. De kan være dannet ved et mindre genfremstød under den generelle bortsmeltning af nordøst-isen.

Øverst i Himmelev området finder man ofte en sandet moræneler, og ikke sjældent er der isskurede sten ved denne morænes underside. Måling af skurestriberetninger på stenene viser, at det sidste isfremstød i området kom fra sydøst.

Efter undersøgelsens afslutning har fortsat gravning i området frembragt nogle nye profiler, og det har vist sig, at råstoflegemets begrænsning mod nord kun ligger få meter fra den grænse, som de geofysiske måleresultater indicerede.

Området blev dækket med 21 linier med geoelektriske opmålinger. Den samlede profilslængde er 31,5 km, og resultatet af opmålingen er vist som et kurvekort med iso-ohm-m kurver for måleområdet (fig. 3).

På selve den centrale plateauagtige bakke varierer de målte modstande generelt mellem 100 og 380 ohm-m. Værdierne er tolket som 2-8 meter moræneler over sand- og gruslagene. På den nord og nordvestlige del af bakken er de målte værdier imidlertid mindre end 80 ohm-m, og det kan tolkes som et morænedække, der er tykkere end 10 meter. Samtidig ses også et nord-syd-gående område ved kæmpehøjen Masterhøj, hvor de målte værdier er under 80 ohm-m. Det formodes, at der her også er tale om et morænedække på mere end 10 meters tykkelse, og da retningen af dette område synes at være parallel med orienteringen af maksima og minima inden for højmodstandsområdet på selve bakken, kan det forklares som udtryk for længderetningen af istryksdannede strukturer i toppen af gruslagene.

Sonderinger

Ud fra iso-ohm-m kortets maksima og minima og kendte geologiske data udvalgte 11 steder til geoelektriske sonderinger. Formålet var at måle morænedækkets tykkelse og råstoflegemets tykkelse i højmodstandsområdet og at oplyse om eventuel tilstedeværelse af dybereliggende sand- og gruslag i lavmodstandsområdet. Til sonderingerne anvendtes Schlumberger-opstilling. Resultaterne viste 2-7 meter overjord med en specifik modstand på 52-65 ohm-m, hvilket formodentlig er moræneler. Herunder optræder 7-20 meter tykke legemer med en specifik modstand på 400-900 ohm-m, hvilket kan tolkes som sand- og gruslag (fig. 4).

I lavmodstandsområdet viste sonderingerne 11-25 meter tykke lag med modstande på mellem 53 og 70 ohm-m, hvilket nok er moræneler. Herunder, muligvis adskilt ved et tyndere sandlag, findes tertiært kalk og grønsandskalk. Det betyder, at der ikke findes sand og grus på de nord og nordvestvendte skråninger. Endelig blev der udført 2 boringer, der skulle støtte tolkningen af sonderingerne. De viste en god overensstemmelse med tolkningen af sonderingerne.

Den geologiske historie

Ud fra de geofysiske målinger og de geologiske observationer i de eksisterende grusgrave har det været muligt, at rekonstruere den geologiske historie for Himmelev bakken. Underlaget, som bakken hviler på, er kalkaflejringer, og herover følger en blågrå, fed moræneler. Denne morænelers alder kendes ikke nøjagtigt, men senere undersøgelser af indholdet af omlejrrede foraminiferer i morænen antyder, at en Saale-alder er sandsynlig, det vil sige fra næstsidste istid.

Over den blågrå moræne ligger sand- og gruslag, der har fået betegnelsen 'Himmelev formationen'. Den bliver mere og mere gruset opad og afsluttes med et

Forbedret udnyttelse ('enhanced recovery')

Det hidtil beskrevne betegnes ofte som den primære fase i produktionen. Den sekundære fase begynder, når man er nødt til at tilføre vand eller gas for at opretholde et passende tryk i reservoiret. I mange olie- eller gasfelter starter man allerede på dette kort efter produktionens begyndelse. Formålet er naturligvis, at man vil vedblive med at trække olien eller gassen ud af bjergarten i reservoiret, og samtidig undgår man, at det helt eller delvis tømte reservoir styrter sammen. At dette problem eksisterer kendes blandt andet fra det norske Ekofisk felt. Satellit-fotos har således vist, at platformene gennem de sidste 6 år er sunket ca. 3 meter, altså 50 cm om året, idet vægten af det overliggende havvand har presset de delvis tømte og dermed 'hule' bjergarter sammen. Nedsynkningen af platformene øger risikoen for, at høje bølger vil kunne ramme og beskadige bygningerne på platformene. For at stoppe nedsynkningen i Ekofisk feltet overvejer man at pumpe vand og kvælstof ned i reservoiret, uden dog helt at vide, om det er tilstrækkeligt til at sikre boreplatformene. I det danske Gorm felt blev den gas, der blev produceret sammen med olien, allerede fra starten af produktionen pumpet tilbage til undergrunden, og inden for en kort årrække påtænkes det også at pumpe vand ned i reservoiret.

I nogle oliefelter anvendes andre metoder end de her nævnte til at få mere olie op. Ved nedpumpning af damp opvarmes olien, så den lettere flyder, men det kan kun bruges, hvor olien er sejtflydende, og i øvrigt er det vigtigt at vide, hvor den nedpumpede damp forsvinder hen, og hvordan den opfører sig. Som antydning er der mange specielle problemer. Geologen er med til at løse nogle af dem, men han gør det ikke alene, han er med i et teamwork af nødvendige specialister.





Store rullesten

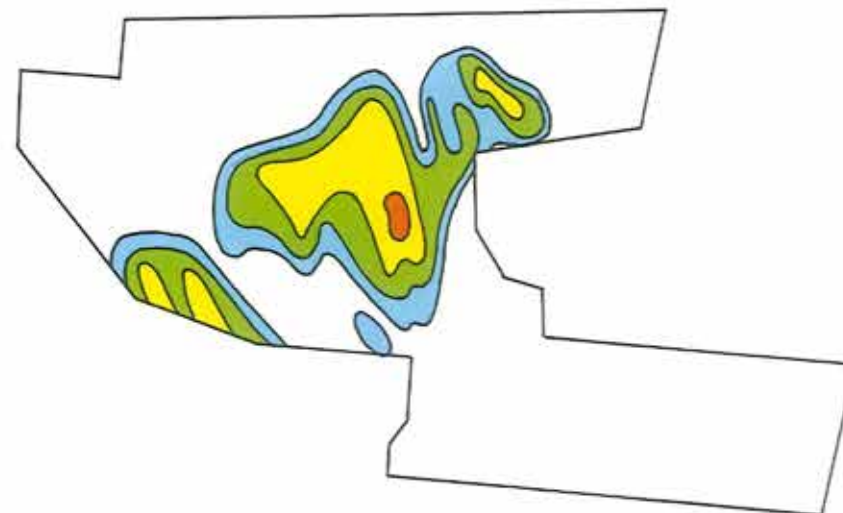
af J. D. Friederichsen & H.-J. Bengaard

"Olistolith - en fremmedartet blok eller bjergartsmasse". Dette lakoniske uddrag af en geologisk ordbog dækkede oprindelig nogle forekomster af store, rullede blokke i de italienske alper. Sprogligt er *olistos* græsk og betyder noget, der glider, mens *lithos* betyder sten. Ordet har vist sig at være anvendeligt andre steder. Man kan med det betegne et større geologisk legeme, som forekommer løsrevet fra sin oprindelige sammenhæng. Ofte er det en stor stenblok indlejret i en sedimentserie.

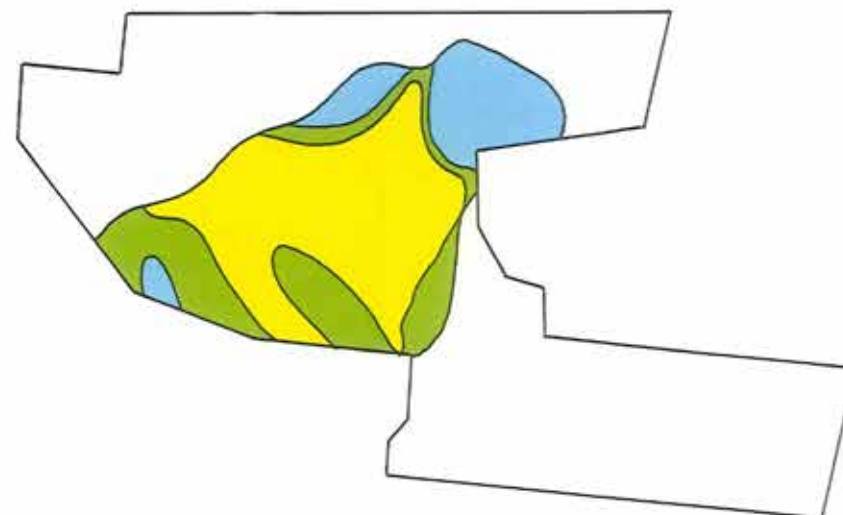
Vi (geologer fra Grønlands Geologiske Undersøgelse) fik brug for ordet ved kortlægningen af Nansen Land i Nordgrønland i somrene 1984 og 1985. Figur 1 viser et eksempel på landskabet i Nansen Land. De to lyse områder midt i billedet og de små for neden til venstre består af kalksten og dolomit. De mørkere omgivelser er dannet af mudder, silt og sand, som danner turbiditbænke.



Figur 1. Landskabet i det sydøstlige Nansen Land. De lyse pletter er olistolither, som ligger på række. Den lyse stribe til højre i billedet er en grov sandsten.



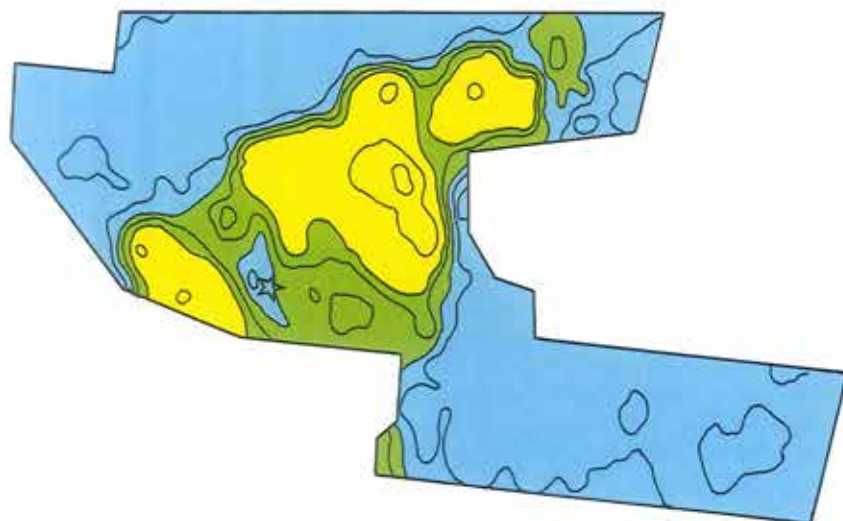
Figur 4. Tykkelse af overjord fundet på grundlag af geo-el målinger. Den røde farve viser indtil 2 m overjord, den gule indtil 4 m, den grønne indtil 6 m og den blå indtil 8 m.



Figur 5. Tykkelse af råstoflegemet fundet ved geo-el målinger. Den gule farve viser mere end 12 m råstof, den grønne 10-12 m og den blå 8-10 m.



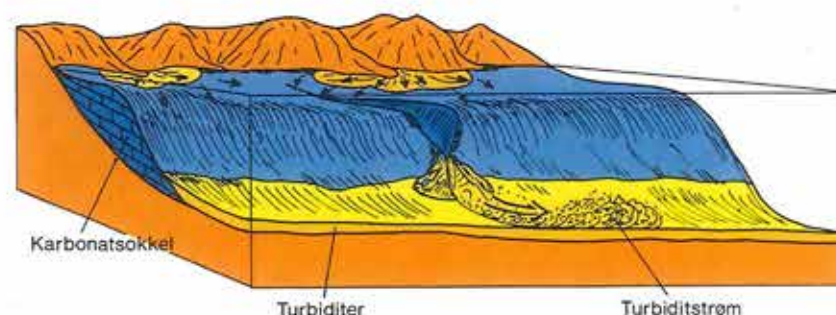
Figur 2. Lokalisering af undersøgelsesområdet (vist med gult) ved Himmelev nord for Roskilde.



Figur 3. Iso ohm-m kort over det undersøgte område ved Himmelev. Værdier under 80 ohm-m er vist med blå, værdier mellem 80-120 ohm-m med grøn og værdier over 120 ohm-m med gult. Masterhøj er vist med en stjerne.

Naturligvis havde vi studeret luftbilleder af området inden vi tog fat på feltarbejdet, og geologen Tony Higgins, som udførte flyfototolkningen, havde set de lyse områder - endog stereoskopisk - og han havde på kortet undrende noteret: 'Der synes her at være to 30 meter høje spidser' og 'Store lyse pletter'?

Et nærmere eftersyn i felten viste, at "pletterne" er kæmpestore blokke af lyse kalksten og dolomiter af en type, der ellers kun findes syd for Nansen Land. De nærmeste forekomster findes i dag ca. 15 km syd for blokkene, og da området i tiden efter aflejringen blev stærkt sammenpresset og foldet, har den oprindelige afstand nok snarere været ca. 25 km. Begrebet *olistolith* passede på de lyse bjergarter, men hvordan var de havnet i Nansen Land?



Figur 2. Forholdene langs den nordvendte kyst af Grønland i Kambrium. Der er tilfældigvis en turbiditstrøm igang.

Nansen Land er opbygget af sedimentter fra den senere del af Nedre Kambrium. På den tid lå der her et stort havområde med en kyst mod syd. Figur 2 viser, hvordan et bredt sokkelområde langs kysten bestod af en serie ældre kalksten og dolomiter, og pilene viser, hvordan erosionsprodukter fra baglandet - i form af mudder, silt og sand - blev aflejret i flade floddeltaer tæt ved kysten. Derfra blev det med tidevand og bølgebevægelse ført mod nord ud over soklen og ned i dybhavet. En del af erosionsresterne blev opfanget af undersøiske canyons og aflejret i stejle kegler ud for canyonmundingerne. Herfra er erosionsresterne lejlighedsvis rutchet videre ud i havområdet som turbiditstrømme. En turbidit består af en vandmasse med et stort indhold af opslemmet sediment, der med stor hastighed glider ned af de undersøiske skrånninger og efterlader en 'hale' af materiale, som bundfælder sig. Man kender adskillige eksempler på nutidige turbiditstrømme - se i øvrigt Informationskasse 1.

I løbet af ca. 10 millioner år blev der aflejret 5-6 km tykke sedimentlag, hvor Nansen Land nu ligger, og lagserien er overvejende dannet ved turbiditstrømme.

Det er en usædvanlig hurtig sedimentation, for turbiditstrømme er alligevel ikke en dagligdags hændelse. Det skønnes således, at der dengang kun strømmede en turbidit ud over området for hver 1000 år, og at hver enkelt strøm kun afsatte ca. 10 cm sediment per gang.

Informationskasse 1

I 1929 var der sydøst for Newfoundland et jordskælv, som udløste undersøiske skred i sedimenter over en 100 km lang strækning. Sedimentlagene var ca. 400 m tykke, og de befandt sig netop der, hvor sokkelområdet langs en skrænt gik over i dybhavet. Havbunden hælder her ca. 1:80, stejlere er dybhavsskræninger i regelen ikke. En serie telegrafkabler befandt sig på havbunden ud for skredområdet, og de blev revet over, det ene efter det andet, og således kunne man følge fronten af den turbiditstrøm, som var blevet udløst ved skredet. Som en kuriositet kan det nævnes, at det først var i 1953, at en kvik geolog forklarede kabelbrudene som resultat af en turbiditstrøm. Kabelbrudene demonstrerede, at turbidithastigheden var over 80 km/t i begyndelsen, men såvel bundens hældning som strømmens hastighed aftog mod sydøst. Her, ca. 350 km væk, blev det yderste kabel overrevet 13-14 timer efter det første kabelbrud. Hastigheden var da nede på omkring 20 km/t, og havbunden hælder her ca. 1:1500. I alt 100 kubikkilometer materiale indgik i denne turbiditstrøm.



Figur 3. Stromatoliter i bjergene i den sydlige del af sokkelområdet i Nordgrønland.

ydere til måleresultaterne. Ved punktprofilopmålinger fås derved et kvalitativt billede af variationen i jordlagenes specifikke elektriske modstand. Disse data tolkes enten ved hjælp af modelkurver eller ved computerberegninger. Tolkningen indeholder mange problemer, bl.a. forudsætter modelkurverne, at der er tale om horisontaltliggende homogene lag, og tynde lag eller lag med ringe modstandskontrast til omgivende lag vil som regel ikke kunne registreres på kurven. Endelig aftager indflydelsen fra et givet lag med dybden.

Erfaringerne fra mange målinger af danske jordarter giver variationsbredden for den enkelte jordarts specifikke modstand (angivet i omh-m):

Ferskvandstør, -gytje og -ler	10 - 35
Saltvandstør, -gytje og -ler	1 - 15
Moræneler	40 - 80
Morænesand	70 - 100
Tertiært fedt ler	1 - 20
Tertiært glimmerler	10 - 40
Sand og grus over grundvandsspejlet	100 - 10000
Sand og grus under grundvandsspejlet	75 - 500
Kalk og kridt	90 - 500

Råstofundersøgelser

Som et eksempel på anvendelsen af den geoelektriske resistivitetsmetode skal her omtales en kortlægning af råstofforekomster i Hovedstadsregionen. Formålet var at afgrænse en kendt forekomst af sten, grus og sand i et eksisterende grusgravsområde nord for Himmelev ved Roskilde.

Geoelektriske linieprofil- og punktprofilopmålinger indgik som væsentlige elementer i undersøgelsen ved Himmelev. Områdets størrelse er ca. 500 ha, hvilket gjorde, at geoelektriske linieprofilopmålinger var den eneste brugbare metode til at give et overblik over den geologiske opbygning inden for de tidsmæssige og økonomiske afstukne rammer. Området består af en centralt beliggende bakke, der på toppen har en gravhøj, Masterhøj. Bakkens top er ret flad og danner et plateau i en højde på mellem 35 og 45 meter, mens det omgivende landskab er en bølget moræneflade i niveau omkring 20-25 meter.

I områdets 3 grusgrave fandtes overet et dække af moræneler med tykkelse mellem 1,5 - 6 meter liggende over sand og grus. Derfor valgtes en Schlumbergeropstilling med en afstand mellem strømelektroderne på 20 meter til linieprofilopmålingerne. Med denne afstand mellem strømelektroderne skulle den geografiske variation i den målte modstand afspejle variationer i morænelerets tykkelse, når dette er mindre end 10 meter. Generelt vil en udtynding i morænedækkets tykkelse ses som en stigende modstand.

Man kan også anvende en meget lille afstand mellem de to midterste måleelektroder og en større afstand mellem de to yderste strømelektroder (Schlumberger-opstilling).

I begge opstillingsmåder sendes en lavfrekvent vekselstrøm mellem strømelektroderne (S 1 og S 2), og spændingsforskellen, der er afhængig af den valgte opstillingsmåde, måles mellem måleelektroderne (M 1 og M 2), og omsættes til en tilsyneladende specifik modstand i målepunktet P. Ønskes der således en undersøgelsesdybde på 5 meter, benyttes en indbyrdes afstand mellem elektroderne og målepunktet på 5 meter ved en Wenner-opstilling. Ved en Schlumberger-opstilling bruges 10 meter mellem strømelektroderne, d.v.s. 5 meter mellem strøm- og måleelektroder.

Den målte værdi repræsenterer en gennemsnitlig specifik modstand for de jordlag, der ligger inden for måleområdet, idet dog de øverste jordlag vil have den største indflydelse på resultatet. Ved valg af elektrodeafstand indgår bl.a. faktorer som forhåndskendskab til områdets geologi, hvor dybt det eftersøgte lag forventes at ligge, og hvor detaljerede resultater, man ønsker. Den geoelektriske resistivitetsmetode kan anvendes ved to typer målinger, linieprofil- og punktprofilopmåling.

Linieprofilopmåling

Ved linieprofilundersøgelser udføres en række målinger, hvor opstillingspunktet P flyttes langs en linie. Når det første punkt er målt, flyttes måleopstillingen i liniens retning, og et nyt punkt måles. Afstanden mellem målepunkterne vælges af praktiske hensyn som et helt multiplum af elektrodeafstanden. Er den f. eks. 5 meter i en Wenner-opstilling, vil man ofte vælge 10 eller 15 meter som afstand mellem 2 målepunkter. Anvendes en Schlumberger-opstilling, svarer afstanden mellem målepunkterne ofte til afstanden mellem strømelektroderne. Da elektrodeafstanden er konstant ved en linieprofilundersøgelse gennemmåles samme jordmasse teoretisk ved hver måling. Variationer i måleresultaterne skyldes derfor variationer i de geologiske forhold.

Undersøgelsesområdet dækkes af linieprofiler, der systematisk kan lægges parallelt, lægges efter de topografiske forhold, eller lægges efter den forventede geologiske opbygning af området. Hvor tæt linierne skal ligge afhænger af, hvor detaljeret man ønsker resultaterne. Måleresultaterne udtegnes i form af et resistivitetsskort, der er et kurveskort, som viser iso-ohm-m kurver for undersøgelsesområdet (fig. 3).

Punktprofilopmåling

Ved en punktprofilopmåling fastholdes opstillingspunktet P, mens strømelektroderne flyttes længere og længere væk for hver ny måling. Herved gennemmåles stadig større jordmasser og dybereliggende lag inddrages gradvis som bidrag-



Figur 4. Stromatolit i en olistolith, der er fundet i Nansen Land.

Nansen Land er således stort set opbygget af sedimenter aflejret på temmelig dybt vand, men olistolitherne indeholder strukturer (stromatoliter, se figur 3 og informationskasse 2), der er dannet på lavt vand. Dette understreger, hvor fremmedartede olistolitherne er i forhold til de omgivende bjergarter.

De store olistolither, der er mere end 20 meter i diameter, ligger samlet i tre områder. Turbiditerne, der normalt er ret finkornede, indeholder i disse tre områder en del tykke bænke af grovkornet sandsten, der formodentlig er afsat i 'kanaler', der har udstrålet fra munden af en undersøisk canyon (turbiditstrømme følger ofte kanaler af denne type). Man kan derfor forestille sig, at olistolitherne er dannet ved, at undersøiske canyons har skåret sig ned i de ældre kalksten og dolomiter, og at blokke af disse ældre bjergarter er skredet ned fra siderne i canyon'en og er blevet ført ud i dybhavet.

Informationskasse 2

Stromatolit er et fællesnavn for uregelmæssigt søjleformede eller lagformede strukturer, som findes i bjergarter som fossiler helt fra Prækambrium og op til vor tid. Fra nutidige eksempler ved man, at de for størstedelen dannes af grønalgekolonier på helt lavt vand. Man kender dog også eksempler på stromatoliter, som absolut ikke er af organisk oprindelse, f. eks. fra varme kilder. Det er grønalgenes formeringsmekanisme, som sammen med deres ekstremt stabile arvmasse har sikret deres uændrede habitus.



Figur 5. I forgrunden ses den lyse dolomitiske kalksten, som er karakteristisk for olistolitherne. Det lyse parti i baggrunden er også en olistolithblotning. Nansen Land.

Hvordan transporten er foregået er ikke særligt klart - måske er blokkene blevet fanget i mudderstrømme, som har ført dem mange kilometer ud i havområdet. Langt ude, hvor strømmenes hastighed og tykkelse er aftaget, er de store blokke 'strandet', medens de lettere og mere finkornede dele af turbiditfronten er fortsat mod nord.

Og til slut lidt om dimensionerne: vor største olistolith i Nansen Land er 400 m lang, 200 m bred og mindst 100 m høj. Længden svarer nogenlunde til højden af Empire State Building i New York, men blokken fra Nansen Land er en del bredere. Den må formodentlig veje mindst 20 millioner tons! En del læsere vil nok mene, at mudderstrømme umuligt kan transportere blokke af denne størrelse, og da slet ikke 25 km, men hvis mudderstrømmen/turbiditstrømmen er lige så tyk som blokken og er fyldt med sediment, er vægtfyldeforskellen mellem blok og det omgivende materiale ikke særlig stor, og - *voilà* - afsted sejler en 20 millioner tons tung 'rullesten'.



Råstofgeologi

af Erik Maagaard Jacobsen

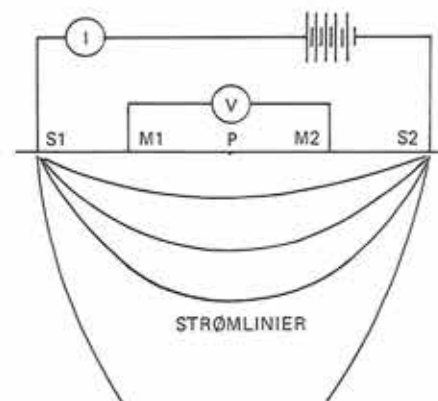
I forbindelse med geologiske og ingeniørgeologiske undersøgelser af større områder inden for det danske Kvartær har den geoelektriske resistivitetmetode i de senere år vundet indpas mange steder. Da udstyret er ret billigt og driftssikkert, og da store arealer kan undersøges på kort tid, er det velegnet til kortlægning af råstofforekomster, blødbundsområder og lossepladser.

Metoden

Ved den geoelektriske resistivitetmetode bestemmes jordbundens tilsyneladende specifikke elektriske modstand, resistiviteten, som måles i ohm-meter. Teorien bag metoden er udviklet på baggrund af følgende ideelle forudsætninger:

1. De geologiske lag ligger horisontalt
2. De enkelte lag er homogene
3. Lagene har en uendelig udstrækning i forhold til måleopstillingen

Disse ideelle forudsætninger er kun sjældent opfyldt, men alligevel viser det sig i praksis, at metoden er brugbar, der er en sammenhæng mellem den målte modstand og den geologiske opbygning. De geoelektriske målinger foretages i punkter, der på forhånd er afsat i terrænet. I et givet punkt P - opstillingscentret (se fig. 1) - udføres målingen således: 4 jordspyd, der fungerer som strømforsynings- og måleelektroder, stikkes i jorden langs en ret linie med målepunktet P i midten. Der er samme afstand mellem P og de inderste jordspyd (måleelektroderne), som der er mellem måleelektroderne og de yderste jordspyd, strømelektroderne. Denne opstilling kaldes også Wenner-opstilling.



Figur 1. Principskitse, der viser forløbet af strømmer i en homogen jordart. Wenner-opstilling.

ældgammelt organisk materiale i disse bjergarter, medens en anden del måtte være tilført fra jordens øvre kappe.

Allerede de her nævnte resultater viste med al tydelighed, at hvad man for boringen havde betragtet som et typisk stabilt grundfjeldsområde var fyldt med overraskelser. Også temperaturforholdene viste overraskelser. Medens udviklingen i temperatur de øverste 3 km svarede meget godt til, hvad man havde forventet udfra geofysiske målinger, steg temperaturen fra 3 til 10 km's dybde væsentlig hurtigere. Denne meget større stigning i temperaturer, i godt 10 km's dybde nåede den op på næsten 200°C, menes delvis at skyldes en stor tilstrømning af varme fra jordens øvre kappe.

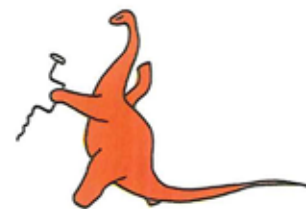
Udover de rent geologiske resultater af Kola boringen opnåedes også en række resultater inden for boreteknologien. Nogle af de problemer, man stødte på undervejs og løbende måtte løse, skyldes de høje temperaturer og tryk, men også den kraftige korrosion af boreudstyret fra de gennemstrømmende opløsninger. Ændringer i blandt andet boreudstyret har gjort, at man ser optimistisk på mulighederne for at kunne komme endnu 5-10 km længere ned i skorpen under Kola. I disse dybder regnes med temperaturer på mellem 300 og 400 grader og tryk på mere end 3000 atmosfærer. Også optagningen af borekerner fra disse dybder skaber problemer. Når trykket fra de overliggende bjergarter fjernes ved udboringen af en sådan prøve, pulveriseres den på det nærmeste af frigørelsen af dens indre tryk. Skal en sådan borekerne nå hel op til overfladen, må det ske i specielt konstruerede trykkamre, så det omgivende tryk ikke pludseligt falder.

De mange overraskende resultater af Kola boringen har givet optimisme til yderligere superdybe boringer i Sovjetunionen. Ved Saatly i Baku olie- og gas-feltet ved det Kaspiske hav er en boring således nået ned i 8.5 km's dybde, og også der fortsættes boringen. Udover disse to boringer er yderligere 3 superdybe (dvs mere end 7 km dybe) boringer planlagt: ved Mutuntan, Anastasievsko-Troitskaya, og yderligere en ved det Kaspiske hav. Herudover er 6 boringer ned til ca 4 km's dybde planlagt, således at direkte observationer af de dybere forhold i grundfjeldsområdet forskellige steder i Sovjetunionen vil foreligge om nogle år.

Også i Europa har dybe boringer opnået en vis popularitet. De mest konkrete planer gælder en superdyb boring i Vesttyskland. Selve borelokaliteten er endnu ikke endeligt fastlagt, men flere muligheder foreligger. Boringen påbegyndes i 1987 eller 1988 og skal efter planerne nå ned i en dybde af 10-15 km. En række forskellige forundersøgelser til denne tyske boring har allerede nu skabt store forventninger til de kommende resultater, og ad åre vil resultaterne fra disse boringer, helt sikkert bidrage til et mere detaljeret og varieret billede af opbygningen af jordens skorpe og af de geologiske processer, der finder sted.

Jordens dybeste hul

af Jens Konnerup-Madsen



I 1970 påbegyndtes en boring nær byen Sapoljarnyj på Kola halvøen i det Sovjetrussiske Murmansk område. Formålet med boringen var at samle oplysninger om opbygningen af de stabile grundfjeldsområder, af deres dybe strukturer og de geologiske kræfter, der skabte dem. I dag er boringen nået ned i godt 12 km's dybde og der dermed langt den dybeste boring på jorden.

Undervejs har borchovedet trængt gennem sedimentære, metamorfe, vulkanske og plutoniske bjergarter repræsenterende mere end 1.4 milliard års geologiske udvikling. Siden boringens øverste og yngste bjergarters dannelse for godt 1 milliard år siden er ca. 8 km overliggende bjergarter blevet eroderet bort i området, så den gennemborede bjergartssøjle svarer faktisk til et snit gennem jordens skorpe fra 8 til 20 km's dybde. At netop Kola halvøen af de russiske geologer valgtes til stedet for den første dybe boring skyldes, at grundfjeldsområdet der, menes at være typisk for jordens øvrige gamle, stabile grundfjeldsområder, som vi kender dem i f.eks. Indien, Nordamerika og Grønland.

Vort kendskab til opbygningen af jordens skorpe stammer i første omgang fra undersøgelser af bjergartsprøver indsamlet i gamle skjoldområder, hvor milliarder af års erosion har gnavet km-tykke lag af toppen og således blottet lag fra måske 15-20 km's dybde i skorpen. Skal vi have oplysninger om dybere dele må vi ty til geofysiske målinger og forsøge at knytte disse til bjergarter og bjergartssammensætninger, der svarer til disse målinger. Det betyder, at tolkningen af sådanne geofysiske måleresultater til en vis grad afspejler geologernes forventninger til, hvad der findes i dybere og ikke blottede lag af skorpen. Et af formålene med Kola boringen var at forsøge at få direkte oplysninger om egenskaberne af sådanne dybereliggende bjergarter og se, om de forventninger man fra geofysiske målinger havde til den dybe skorpe i Kola området også kunne opfyldes i virkeligheden. Og hvad blev så resultatet af denne sammenligning.

Een af de metoder geologer anvender til at sige noget om bjergarternes fysiske egenskaber er hastigheden, hvormed seismiske bølger udbredes. For eksempel

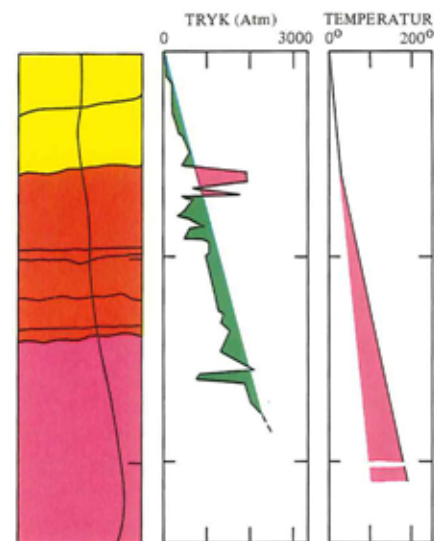
ser man i jordens skorpe i en vis dybde ofte et pludseligt spring til højere værdier. Dette spring er ofte blevet tolket som en ændring i sammensætningen af skorpens bjergarter. På Kola halvøen var dette spring observeret i godt 9 km's dybde, og Kola boringen var således den første boring til at passere dette spring.



Placeringerne af dybe boringer i Sovjetunionen. Kola boringen er vist med en stjerne, medens andre påbegyndte eller planlagte og mere end 7 km dybe boringer er vist med fyldte trekanter. Placeringen af planlagte boringer til kun 4 km's dybde er vist med ikke-fyldte trekanter.

Ned til godt 4.5 km gik alt som forventet. Borehovedet passerede gennem først sedimentære og metamorfoserede bjergarter af vulkansk oprindelse. Disse bjergarter bød ikke på overraskelser. De kendtes fra andre dele af Kola halvøen, hvor de var blottet på overfladen og havde knyttet kobber og nikkel forekomster til sig. Men i 4.5 km's dybde skete der noget. Boret løb ind i en zone med stærkt opsprækkede bjergarter. Denne zone fortsatte ned til godt 9 km's dybde, og det var faktisk ved overgangen fra denne opsprækkede zone og ned i en underliggende zone med normale, faste bjergarter, at det pludselige spring til høje udbredelseshastigheder af seismiske bølger skete. Så der var altså ikke tale om en grænse mellem bjergarter af forskellig sammensætning, men derimod om en og samme bjergart, opsprækket i forskellig grad.

Zonen med de stærkt opsprækkede krystallinske metamorfe og magmatiske granitiske bjergarter mellem 4.5 og 9 km's dybde var eet af Kola boringens overraskende resultater. Medens boret arbejdede sig ned gennem denne zone, stødte det gentagne gange på zoner gennemstrømmet af varme, vandige opløsninger rige på blandt andet metaller. Prøver af borekerner viste, at medens



Til venstre et forenklet snit af de gennemborede 12 km af Kola halvøens skorpe. Svagt omdannede sedimentære og vulkanske bjergarter vist med gult, lettere metamorfoserede granitiske bjergarter med orange. Disse lag aflejreredes fra for 2.4 milliarder år siden på den eroderede overflade af et 2.7 milliarder år gammelt granitisk grundfjeld (rødt). I søjlerne i midten og til højre er vist forskellen mellem forventede og observerede værdier af henholdsvis bjergartstryk og temperatur: lavere værdier end forventet med grønt, højere værdier end forventet med rødt.

mængden af kemisk bundet vand ned til 4.5 km's dybde lå ret konstant på ca 4 vægt %, faldt det ved overgangen til den nedknuste zone til godt 2 vægt %. Dette fald skyldes nedbrydning af vandholdige mineraler. Det frigivne vand ville normalt være sivet opad gennem skorpen mod lavere tryk, men i Kola området holdt overliggende uigennemtrængelige bjergarter imidlertid vandet tilbage. Resultatet blev et meget stort vandtryk, der resulterede i den kraftige opsprækning af bjergarterne og i de store mængder af strømmende vandige opløsninger. I flere zoner var opløsningerne ligefrem meget metal-rige, fra hvilke sulfider af kobber, nikkel, jern, zink og kobolt blev udfældet og kittede de opsprækkede bjergarter sammen.

Sådanne malmdannende opløsninger kendes også fra andre områder. Visse steder i oceanerne, for eksempel langs de midt-oceaniske rygge, ses også direkte dannelsen af sulfid-mineraliseringer fra tilsvarende opløsninger. Kola boringen var det første direkte eksempel på, at sådanne malmannelser også finder sted dybt i jordens skorpe, på dybder hvor geologer tidligere ville have forventet at bjergarterne var faste og helt tørre. Så ved eftersøgningen af malmforekomster har vi måske bogstaveligt talt kun skrabt jordens overflade.

I zonen med opsprækkede bjergarter stødte boret også gentagne gange på lommer og zoner rige på gasser. Blandt de fundne gasser var helium, brint, kvælstof, kuldioxid, metan og andre kulbrinter. En del af disse gasser stammer fra nedbrydningen af de samme mineraler, som frigav de vandige opløsninger. Undersøgelser af isotop-sammensætningen af det kulstof, der indgår i kuldioxiden og kulbrinterne viste derimod, at en del af det måtte stamme fra