



Niels Stensen monumentet i København (Nørre alle 49)
Se artiklen om geologiens grundlægger.

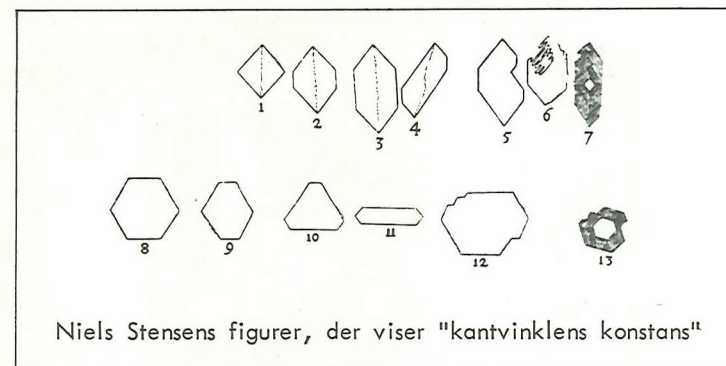
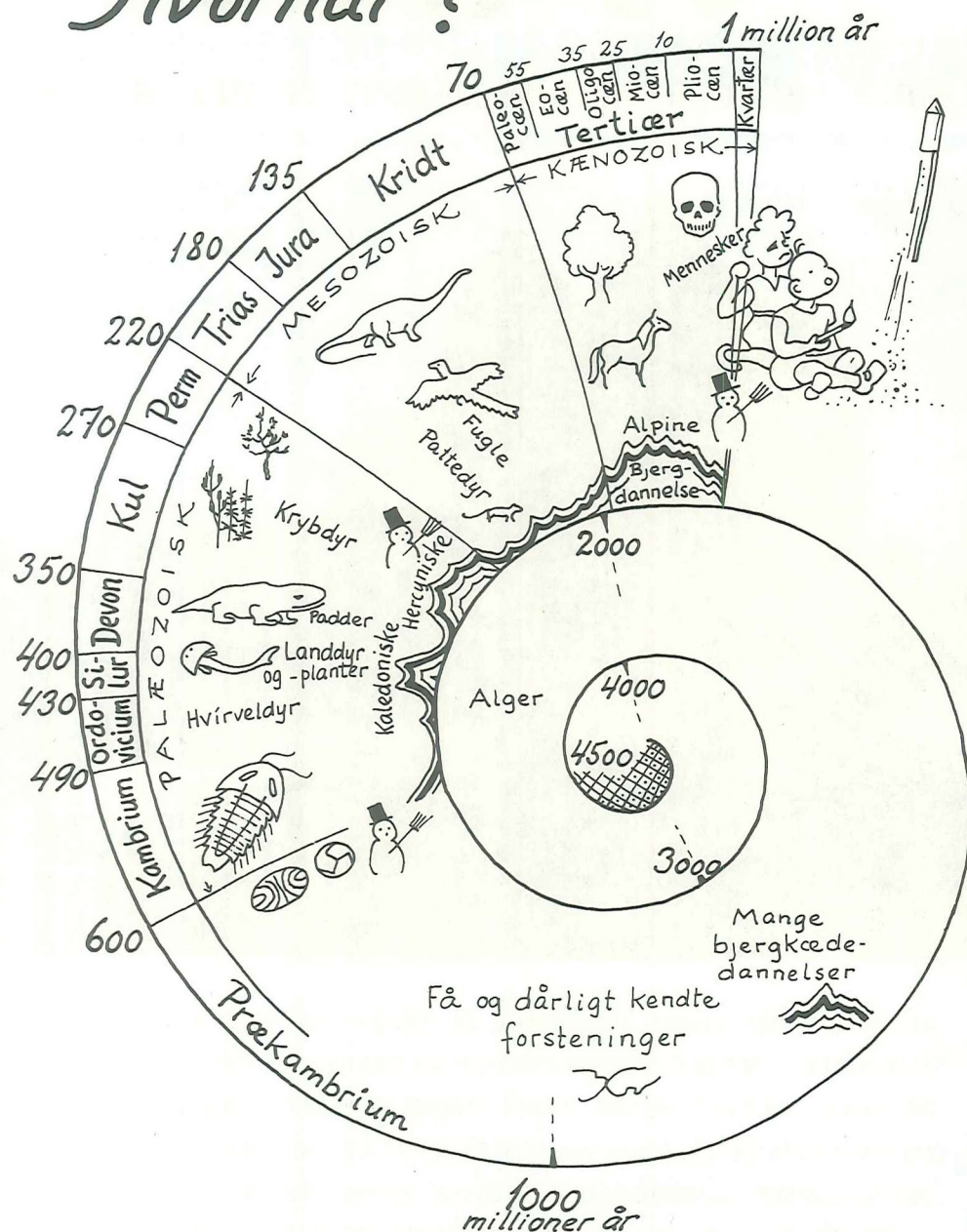
VARV

NR. 3 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1969



MANGE GAMLE KIRKER HERHJEMME ER OPFØRT AF FORHÅNDENVÆRENDE NATURSTEN. DET ER OFTE MORÆNESTEN AF GRANIT, HVORFOR EN MÆNGDE KIRKER PÅ DETTE PUNKT VIRKER TEMMELIG "ENS". KIRKEN I ÅKIRKEBY INDTAGER EN SÆRSTILLING VED FOR EN STOR DEL AT VÆRE BYGGET AF DE BORNHOLMSKE SANDSTEN OG GRØNNE SKIFRE FRA ÆLDSTE DEL AF DEN KAMBRISKE PERIODE. FRA SAMME TIDSAFSNIT OG SAMME BJERGARTER KENDES DE ÆLDSTE FORSTENINGER I LANDET, OG INDE I BLADET FORTÆLLER PROFESSOR CHR. POULSEN OM DISSE ÆLDSTE RESTER AF LIV I DANMARK.

Hvornår?

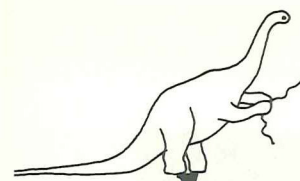


på Københavns universitet som den første i Danmark, der erhvervede doktortgraden på en Steno-afhandling, og i 1963 blev der - omsider - rejst et monument for Steno i hans fødeby København på pladsen foran Københavns universitets naturvidenskabelig-medicinske afdeling af universitetsbiblioteket. På Københavns universitet vil Steno i efteråret 1969, 300-året for udgivelsen af hans geologiske hovedværk, blive mindet, og som en lille episode i denne udvikling kan det nævnes, at det danske postvæsen i 1969 udgiver et Steno-frimærke.

Niels Stensens livshistorie virker stadig dragende på mange mennesker. En fin og ædel personlighed, der tåler at ses på nært hold, er han. Hans grav ses i Sct. Lorenzo-kirken i Firenze i et særligt lille sidekapel, hvor også mange danske på rejse standser lidt og mindes vor store landsmand "anatomen, geologiens grundlægger, Guds tjener - eller anatomus, geologiæ fundator, servus Dei" som der står på foden af stenmonumentet, billedhuggeren Gottfred Eickhoffs værk, der viser Steno holdende anatomisk forelæsning i vinteren 1672 i København.

For dem, der kunne tænke sig at vide mere om Niels Stensen (Steno) skal her nævnes nogle ganske få skrifter fra den righoldige Steno-litteratur. A.D.Jørgensen: Niels Stensen. Et mindeskrift (1884), udsendt i 2.udgave ved Gustav Scherz (1958) vil stadig kunne læses med stort udbytte. I forbindelse hermed kan nævnes Gustav Scherz's disputats "Vom Weg Niels Stensens" (1956) og samme forfatters bog "Pionier der Wissenschaft. Niels Stensen in seinen Schriften" (1963) med kommenterede uddrag af Stenos afhandlinger fra alle områder. Stenos geologiske virksomhed er udførligt omtalt i Axel Garboe: Geologiens Historie i Danmark bind 1 (1959), og den lange vej frem til anerkendelse er omtalt i A.Garboe: Niels Stensens (Stenos) geologiske Arbejdes Skæbne (1948) (Danmarks geologiske undersøgelses 4.række bind 3 nr.4). Se også blandt andet Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening bind 18 (1968) side 107. Om Steno-monumentet og dets historie kan blandt andet ses Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening bind 15 (1964).

Axel Garboe



det første liv i Danmark

af Christian Poulsen

Der foreligger forskellige vidnesbyrd om, at det har været meget længe, før de biokemiske kredsløb i naturen nærmede sig til dem, som gælder i dag. Det er derfor ikke underligt, at de sjældne fund af dyreforsteninger i prækambriske aflejringer til dels er former, som ikke kendes fra yngre lag, og som derfor ikke har formået at sætte sig påviselige spor i udviklingen. Det samme gælder også i nogen grad for faunaen i Bornholms nedre kambrium, som er cirka 600 millioner år gammel, det vil sige kun 100 millioner år yngre end de ældste kendte forstenede rester af dyr.

Bornholms nedre kambriske aflejringer inddeles i tre afdelinger: På et underlag af senprækambrisk (eokambrisk) kontinental sandsten (Nexø-sandsten) følger de nedre kambriske lag, først cirka 60 meter kvartsitisk sandsten (Balka-sandsten), derover cirka 100 meter grønne skifre og øverst den cirka 3 meter tykke Rispebjerg-sandsten. Disse dannelser indtager et stort areal på Sydbornholm.

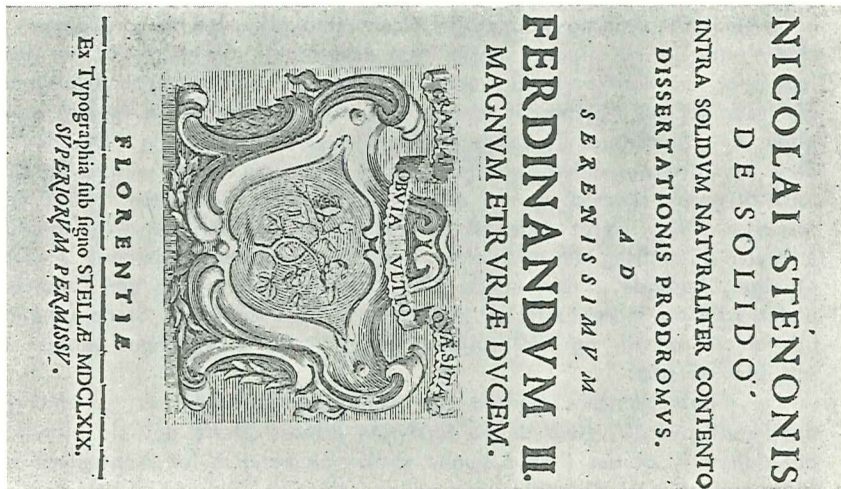
BALKA SANDSTENEN

Balka-sandstenen indeholder spredte korn af glaukonit, et grønt mineral, som kun dannes i havet, og som derfor vidner om, at denne sandsten i modsætning til Nexø-sandstenen er en marin dannelse. Mange af sandstens lagflader har smukt bevarede bølgeslagsriller, som sammenholdt med de fundne spor af organisk liv, tyder på, at aflejringen har fundet sted på lavt vand nær selve strandzonen.

Fossilerne i denne aflejringer er næsten udelukkende såkaldte sporfossiler, det vil sige spor og mærker, som skyldes organismers levevis og virksomhed. Sporfossilerne, der forekommer i store mængder i den ældre del af Balka-sandstenen, er let tilgængelige for studium lige nord og syd for Snogebæk havn. Man har her fundet forskellige typer, blandt hvilke især den lige, rørformede Tigillites med tragtformet munding og den beslægtede Diplocraterion, som blot er U-formet, er iøjnefaldende, se figur 1.



Niels Stensen (Galleria degli Uffizi, Firenze)



Første side i afhandlingen fra 1669

Niels Stensen mindes



Figur 1. Lagflade i Balka-sandsten med sporfossilerne Tigillites og Diplocraterion. Tigillites er enkeltvis forekommende, lodrette rør med tragtformet munding. Diplocraterion er U-formede rør, hvis tragtformede munding optæder parvis. Størrelsen fremgår af den vedlagte cigarettænder (cirka 5 cm lang).

På grund af disse sporfossilers lighed med nogle af de nutidige sandrør, frembragt af orme, antages de at være dannet af orme eller beslægtede organismer. Foruden sporfossilerne har man på en enkelt, nu desværre utilgængelig lokalitet fundet nogle forkullede ormerør, figur 2, som muligvis tilhører slægten *Byronia*, som er kendt fra kambrium i Nordamerika.



Figur 2. Forkullet ormerør i Balka-sandsten (x 2)

Midt under et forskningsarbejde, der på mange måder lykkes og giver store resultater, ligger det fristende nær kun at se fremad imod nye opgaver, der skal løses og bygge videre på det allerede nåede, idet man ikke ofrer mange tanker på forgængernes kamp med problemerne. Da er det godt at standse et øjeblik og mindes dem, der engang ledede naturforskningen ind på nye frugtbare spor. Det er videnskabshistoriens betydningsfulde, i nutiden mere og mere forståede opgave at vise udviklingen indenfor det arbejde, på hvilket hvert slægtled af forskere bygger videre, at formidle kontinuiteten og minde om samhørigheden i den fælles forskning midt i en tid, der mere og mere specialiserer sig og derved kan fjerne forskerne fra hverandre.

I år - 1969 - vil den store danske naturvidenskabsmand Niels Stensen (Nicolaus Stenonius, Steno)(1638 - 1686) blive husket på forskellig måde som den forgangsmand han var ikke blot på geologi og mineralogiens område, men også som fremragende anatom og fysiolog. Blandt geologer vil Steno blive mindet som den, der for 300 år siden (1669) udgav sin bog "De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus", nu tilgængelig i dansk oversættelse (1902) ved August Krogh og Vilhelm Maar ("Foreløbig Meddelelse til en Afhandling om faste Legemer, der findes naturlig indlejrede i andre faste Legemer"). Steno giver heri grundlaget for en eksakt geologi med stratigrafien som vigtigste princip, han gør rede for oprindelsen af forsteningerne som rester af fortidsdyr, og han giver et grundrids af Toscanas geologiske udviklingshistorie. Desuden studeres krystallernes vækst, og Steno finder loven om "kantvinklens konstans" for blot ganske kort at nævne nogle hovedpunkter. Allerede i 1667 havde forøvrigt Steno været inde på de samme hovedtanker i et lille indskud i en større afhandling om musklerne. Ved disse undersøgelser blev Jorden så at sige "levende", den havde sin udviklingshistorie, og den forandredes under ydre og indre faktors påvirkning. I alt dette var Steno langt forud for sin samtid, og der skulle gå lange tider, førend hans geniale indsats blev forstået.

Niels Stensens storhed som naturvidenskabsmand er nu almindelig anerkendt overalt, hvor denne forskning drives. Dette gav sig blandt andet udtryk i, at der i 1965 kunne samles en kongres (et Steno-symposium) i København med tilslutning fra mange nationers forskere. Litteraturen om Steno vokser fra år til år. I 1956 disputerede Steno-forskeren Gustav Scherz



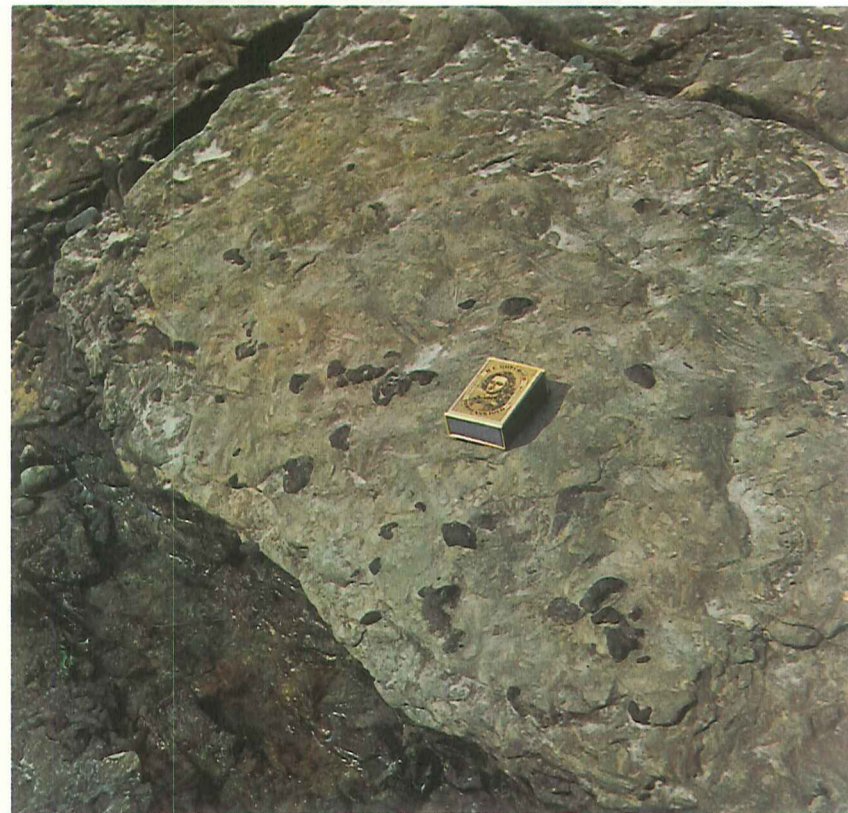
Figur 5. Nærfoto af granatperidotit-fragment fra kimberlitbreccie. Denne bjergart opbygger sandsynligvis størstedelen af Jordens øvre kappe. De grønne krystaller er olivin, de små røde krystaller er granat. Foto P.Riel.



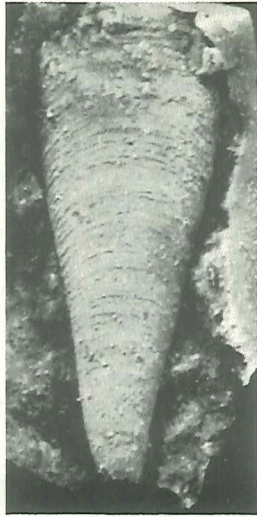
Figur 6. Glimmerperidotit, et kappefragment fra kimberlitbreccie. Syd-afrika. De grønne krystaller er olivin. De brune skinnende flager er phlogopit, en magnesiumrig mørk glimmer. Foto P.Riel.

DE GRØNNE SKIFRE

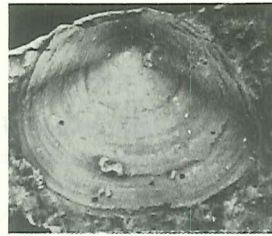
De grønne skifre består af lag af noget varierende karakter. Navnet grønne skifre, der har vundet hævd i faglitteraturen, er egentlig ikke særlig godt i betragtning af, at de fleste af lagene kløver på uregelmæssig måde uden skifrighed og af farve er brune eller gråbrune. Væsentlige dele af aflejringen er så finkornede, at det oprindelige sediment må have "bølanceret" på grænsen mellem finsand og slam, og de grønne skifre må derfor for størstedelen antages at være aflejret på noget dybere vand end Balaka-sandstenen. Manglen af bølgeslagsriller på lagfladerne gør det sandsynligt, at den daværende havbund lå så dybt at bølgeslaget ikke kunne sætte sig spor. På friske brudflader kan man ved hjælp af en lup se store mængder af glaukonitkorn. I den mellemste del af lagserien findes en zone, der indeholder talrige sorte knolde (konkretioner) af fosforit, figur 3,



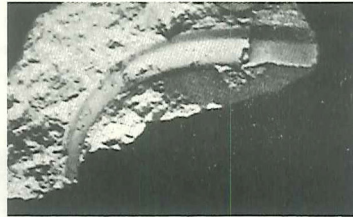
Figur 3. Lagflade i grønne skifre med knolde af sort fosforit.



Figur 4. Afstøbning af aftryk af Hyolithes (x 12)



Figur 5. Afstøbning af aftryk af Hyolithes-låg (x 7)



Figur 6. Venstre "appendix" af Hyolithes (x 3)

som sjældent når over valnødde-størrelse. Fosforit er et calciumkarbonat-holdigt fosfat, som også i nutiden dannes på havbunden i form af knolde fortrinsvis indenfor 1000 meter kurven og i områder, hvor aflejring sker ganske langsomt. De tre åer, Læså, Grødbyså og Øleå, har skåret sig ned i de grønne skifre, som derfor kan studeres i små blotninger langs disse vandløb. Den fosforitførende del af lagserien er imidlertid lettest tilgængelig ved Broens Odde lidt syd for Snogebæk.

De grønne skifres fossiler findes næsten udelukkende i fosforitknolde. Bevaringstilstanden er ikke særlig god, idet det ydre skelet (skallen) næsten altid er opløst, sådan at fossilerne findes som aftryk og stenkerner (vedrørende disse betegnelser se Varv 1966,2 side 16). Nogle af de almindeligst optrædende former er hyolitherne, en uddød klasse af bløddyr, som beboede op til flere centimeter lange svagt kegleformede skaller med trekantet eller halvmåneformet tværsnit. Dyret har kunnet lukke sig inde i skallen ved hjælp af et låg, figur 5, og ragende ud mellem låget og skallen findes hos velbevarede eksemplarer på hver side et "krumsabel"-formet vedhæng, hvis funktion endnu ikke er klarlagt, figur 6. På grundlag af tværsnittet, mundingsrandens udformning og skaloverfladens skulptur har man inddelt hyolitherne i forskellige slægter, af hvilke Hyolithes er den mest fremtrædende, figur 4. Indtil for ganske nylig var tre forskellige hyolitharter de eneste kendte repræsentanter for faunaen i de grønne skifre. En undersøgelse af flækkede fosforitknolde ved hjælp af mikroskop afslørede imidlertid hidtil upåagtede hulrum, som i de fleste tilfælde er så

Diamanterne indeholder selv en række interessante indeslutninger. Disse indeslutninger separeres til kemiske undersøgelser ved bortoxidering af moderdiamanterne. Indeslutningerne omfatter eklogit, olivin, chromfattig diopsid, usædvanlig chromrig granat og chromit, samt højtryksmineralet coesit. Coesit kendes ellers kun fra synteselaboratorier og fra meteorkratre.

På figur 2 er udover kulstof-diagrammet vist ligevægtslinien for kvarts-coesit samt en skønnet geotermal gradient (Jord-temperatur-kurve) for de grundfjeldsområder, hvor kimberlitter findes. Ved at kombinere den geotermale gradient med det kendskab man fra laboratorierne har til de højtryksminerale, der kendes fra kimberlitbreccier, kan man anslå, at brecciernes højtryksmineralskab dannedes ved cirka 11-1400° C og ved tryk på mindst 45 kilobar, svarende til dybder på over 120 km. At vi har bevaret diamanterne og de øvrige højtryksminerale, der jo er metastabile ved de lave tryk, ved jordoverfladen må skyldes at kimberlitmagmaet trængte op fra meget store dybder med stor hast, og at magmaets temperatur var ret lav.

Følgende dannelsesmodel må derfor opstilles for at forklare de diamantførende kimberlitbreccier:

- 1) mindst 120 km under Jordens overflade nede i kappen, der består af ultramafiske bjergarter, skete en delvis opsmeltning af kappe-bjergarter, hvorved en række grundstoffer koncentreredes i den dannede smelte.
- 2) Fra denne smelte krystalliserede granat, clinopyroxen samt små mængder diamant og andre mineraler, hvorved der dannedes eklogit. Den tiloversblevne smelte blev med fremadskridende krystallisation beriget på gasser.
- 3) Da trykket i det gasrige magma overskred en kritisk grænse trængte magmaet med stor kraft op gennem de overliggende 120 km kappe og skorpe op mod jordoverfladen.
- 4) På grund af det store energiforbrug afkølede smelten under sin fremtrængen og nåede op mod overfladen som en breccie.
- 5) Fordi smelten så hurtigt ændrede niveau, og fordi afkølingen skete så hurtigt, kunne brecciens højtryksminerale ikke nå at indstille sig fra højtryks til lavtryksligevægt.

At vi finder diamanter ved jordoverfladen, er altså resultat af et kompliceret og sjældent hændelsesforløb.

Asger Ken Pedersen

I naturen forekommer diamant på primært leje, det vil sige ikke omlejet, ikke flyttet) i nogle meteoriter og i visse forekomster af vulkanske bjergarter.

I forrige århundrede faldt en meteorit ned i Sibirien. Halvdelen af dette meteoritfalds produkter blev spist af overtroiske bønder, medens den anden halvdel blev reddet af geologer. Da man ville knuse en del af meteoriten i en agatmørtel, blev den ellers så hårde mørtel helt ødelagt, for det viste sig, at meteoriten indeholdt cirka 1% diamanter, der fandtes som små sorte krystaller. Da en 2 millioner tons meteorit for en snes tusinde år siden hamrede ned i Arizona og frembragte det store Arizona-krater, dannedes diamanter, der nu findes i nogle af de tiloversblevne meteoritfragmenter.

Begge typer meteor-diamanter er dannet ved højtryks-chockmetamorfose: i det ene tilfælde ved en kraftig kollision ude i det ydre rum og i det andet tilfælde ved kollision med Jorden. Astro-petrologiske studier viser os, at småkloder splintredes i det ydre rum i flere perioder fra kambrium og fremefter, og at det er disse eksplosionssplinter, som nu regner ned over os.

Det er imidlertid kun en forsvindende del af vore diamanter, der stammer fra meteoriter.

Jordiske diamanter på primært leje forekommer udelukkende i en særpræget vulkansk brecciebjergart, der efter en berømt lokalitet i Sydafrika kaldes Kimberlit. (Breccie er en bjergart af skarpkantede bjergartsstumper.) Breccierne udfylder kraterløb, der skarpt skærer sig igennem de omgivende bjergarter. Nedadtil kan disse løb gå over i lodrette gange, og en hel række kraterløb kan fødes fra samme ganglegeme. Kimberlit-kraterløb findes udelukkende i stabile grundfjeldsskjolde. Kimberlitbjergarten er bemærkelsesværdig ved at indeholde en række xenoliter og xenocryster ("fremmedsten" og "fremmedkrystaller"). Xenoliterne omfatter omdannede bjergarter fra forskellige niveauer i Jordens skorpe, men langt mere bemærkelsesværdige er en række ultramafiske og basiske xenoliter fra Jordens "kappe". Disse ultramafiske xenoliter består overvejende af mineralerne olivin, orthopyroxen, chromdiopsid og magnesiumrig granat og omfatter bjergarter som lherzolit, granatharzburgerit og granatperidotit.

De basiske xenoliter - eklogiter - der har samme kemiske sammensætning som basalt opbygges af granat og pyroxen-mineralet omfacit. Udover de nævnte mineraler, der alle findes som xenocryster i breccien, forekommer diamant som et af brecciens sjældnere mineraler. Koncentrationen af diamant er altid meget lille, men da mineralet er så kostbart, kan det betale sig at foretage brydning på breccier med overmåde lave diamantkoncentrationer. Diamant findes undertiden indesluttet i selve eklogitblokkene.



Figur 7. Spikler af kiselsvampe (aftryk x 18)



Figur 8. Spikler af kiselsvampe (x 18)

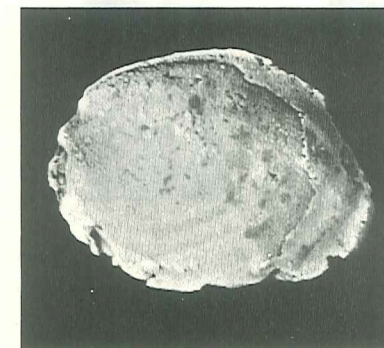
små, at de nærmest kan sammenlignes med nålestik. Plastic-afstøbninger af hulrummene viste, at det drejer sig om aftryk af vidt forskellige organismer. På denne måde lykkedes det at forøge faunalisten med 27 arter, hvoraf de fleste var nye for videnskaben. Her skal kun de mest fremtrædende former omtales.

Uhyre små skeletelementer (spikler) af kiselsvampe, figur 7-8, af form som tre "stave", der krydser hinanden under rette vinkler, findes i de fleste fosforitknolde.

Figur 9 viser en afstøbning af ydersiden af en hueformet skal, der muligvis kan have tilhørt et urbløddyr (Monoplacophor). Denne dyregruppe var anset for uddød for længe siden, indtil en nulevende slægtning (Neopilina) blev fundet af den danske Galatheaekspedition i 1952 i Stillehavet ud for Mexico.



Figur 9. Afstøbning af skalaaftryk (urbløddyr ?, x 15)



Figur 10. Stenkerne af musling (Fordilla, x 12)

Som figur 10 er afbildet en stenkerne af den ganske lille musling, *Fordilla troyensis*, der kendes fra nedre kambrium i Nordamerika, Grønland og Nordeuropa. *Fordilla's* position i dyreriget har været stærkt diskuteret - nogle har anset den for at være et to-skallet krebsdyr, men skaltykkelsen og tilstedeværelsen af formodede hængseltænder peger i retning af muslingerne.

Af helt ukendt stilling i det zoologiske system er *Pseudorthotheca*. Af denne organisme, der som de øvrige fossiler fra de grønne skifre, desværre ikke har noget dansk navn, er der fundet en del aftryk af slankt kegleformede skaller med tværribber, figur 11.

Til de talrigt optrædende fossiler hører to arter af slægten *Coleoloides*, figur 12 og 13, der måske kan være en forløber for den gruppe af bløddyr, som man kalder søtænder (*Scaphopoda*). Skallen hos *Coleoloides* afviger dog fra søtændernes ved at være lukket i bagenden.



Figur 11



Figur 12



Figur 13



Figur 14

Figur 11. Afstøbning af aftryk af *Pseudorthotheca* (x 18)

Figur 12. Skalfragment af *Coleoloides multistriatus* (x 16)

Figur 13. Afstøbning af aftryk af *Coleoloides bornholmensis* (x 10)

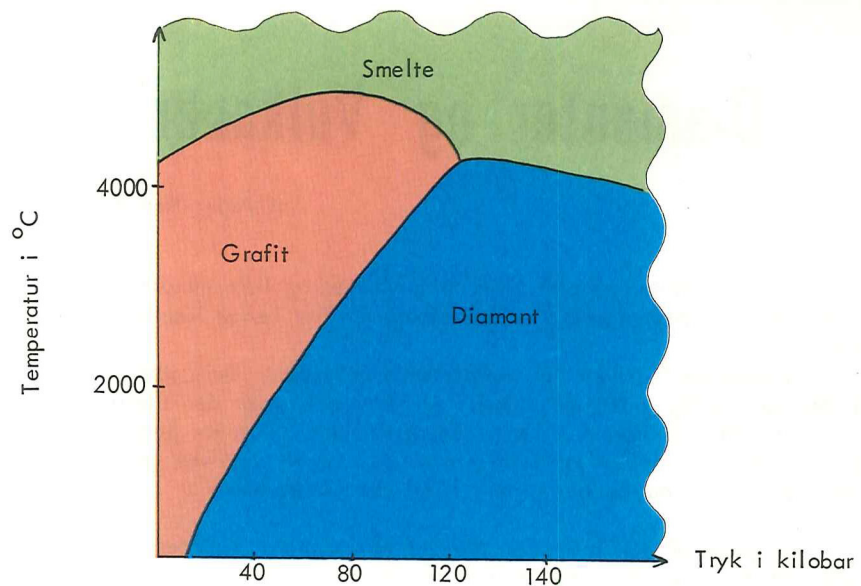
Figur 14. Afstøbning af aftryk af *Hyolithellus* (x 10)



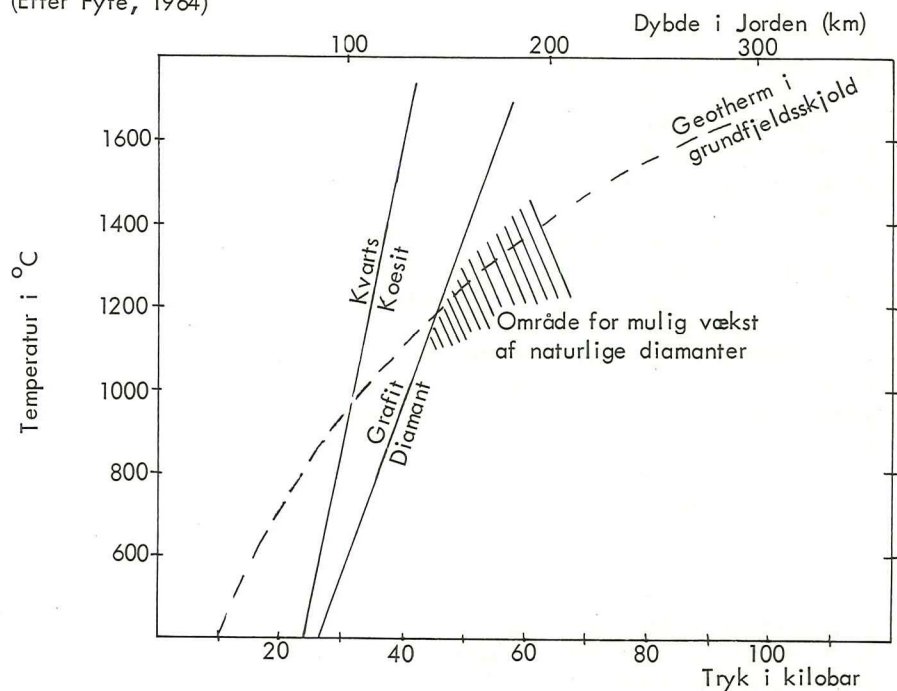
Figur 3. Diamant i sin moderbjergart, kimberlitbreccie. Foto P.Riel.



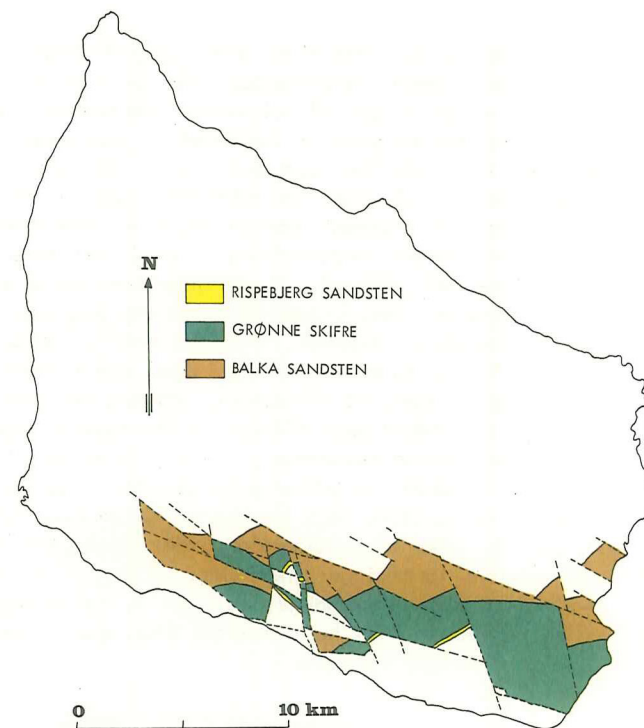
Figur 4. Eklogitfragment bestående af brunrød magnesiumrig granat og mørkegrøn clinopyroxen. Fra kimberlitbreccie i Sydafrika. Foto P.Riel.



Figur 1. Kulstofs fasediagram.
(Efter Fyfe, 1964)



Figur 2. Grafit-diamant ligevægtslinjen i forhold til den normale geotherm i stabile grundfjeldsskjolde. Med skravering er angivet de jordiske diamanters vækst-region. (Efter Meyer, 1968).



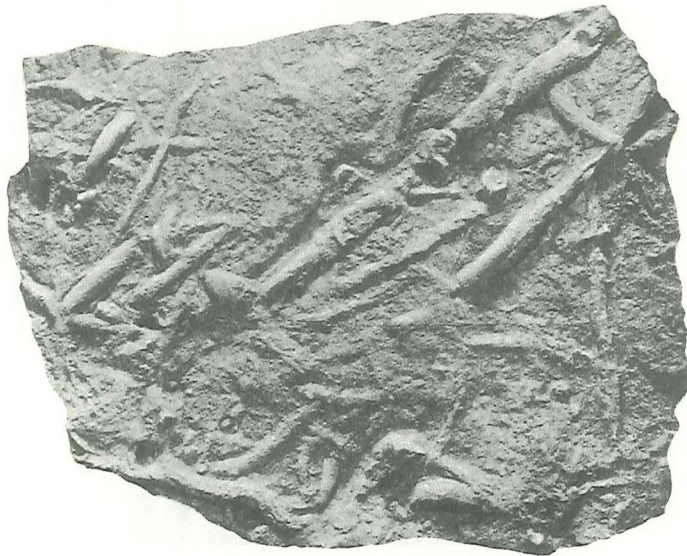
Nedre kambriums afslutning på Bornholm. Her ses Rispebjerg-sandstenen i den udtørrede Læså. I baggrunden kommer de underløjrende grønne skifre og i forgrunden følger den sorte alunskifer fra mellem-kambrium. VP fot.

Diamanter og Vulkaner

af Asger Ken Pedersen

I fosforitknoldene kan man ofte finde aftryk af cylindriske rør, figur 14. Disse rør, som bærer navnet *Hyolithellus*, viser på vigtige punkter så god overensstemmelse med en gruppe af nulevende rørdannende organismer, pogonophorerne, at de må formodes at høre sammen med disse. Pogonophorerne er stærkt specialiserede dyr, som bor i lange rør forankret i havbunden – de kan findes ned til mere end 8000 meters dybde. På grund af den stærke specialisering (for eksempel mangler mund og tarmsystem, så de må optage opløst føde gennem hudoverfladen i deres fangarme) er deres zoologiske position ikke helt afklaret. Nogle anser dem for at stå umiddelbart under hvirveldyrene. Den formodede kambriske pogonophor, *Hyolithellus*, har levet på moderat havdybde, hvad der tydelig fremgår af karakteren af de aflejringer, hvori den findes. Man kunne tænke sig, at pogonophorerne under deres kamp for tilværelsen allerede før slutningen af den kambriske periode har måttet søge tilflugt til den dybere liggende del af kontinentskråningen. Denne hypotese giver en forklaring på det faktum, at der ikke med sikkerhed er påvist pogonophorer i lag fra tidsrummet mellem kambrium og nutiden, idet aflejringer fra så store havdybder, som de ovenfor nævnte, ikke er repræsenteret i den geologiske lagserie.

Udover de nævnte forsteninger indeholder de grønne skifre en stor mængde af sporfossiler, både gravegange, se figur 3, og krybespor. Det vides ikke, hvilke organismer, der har frembragt disse spor. Figur 15 viser et af de mest almindelige krybespor.



Figur 15. Halopoa, et krybespor i grønne skifre ($\times 3/4$).

Det funklende farvespil, den store hårdhed og ikke mindst den store sjældenhed – disse egenskaber hos diamanten har længe fascineret menneskene.

Diamanten har ikke kun værdi som smykkesten. Dens store hårdhed gør den uundværlig inden for industri og håndværk, hvor den benyttes som et meget effektivt slibe-, skære- og raspemiddel. Og for geologerne er den ikke bare en kostbar kuriositet, men et mineral, der kan give værdifulde oplysninger om de bjergarter, hvori det forekommer.

På grund af den intensive diamant-eftersøgning, som længe har foregået Jorden over, har man et ganske godt kendskab til mineralets geologiske forekomstmåde.

Diamanten består næsten udelukkende af kulstof. Kulstofatomerne er ordnet i et tredimensionalt netværk og bundet sammen af stærke bindinger, hvad der betinger mineralets store hårdhed.

Et andet mineral, der forekommer langt mere udbredt i naturen, og som ligeledes består af kulstof, er grafit. Grafit er opbygget af lag af kulstof-atomer, og inden for hvert lag er atomerne bundet til hinanden af stærke bindinger – men mellem de enkelte lag er bindingen meget svag, og derfor er grafit et blødt og afsmittende mineral.

Det blev tidligt erkendt, at diamant måtte være et mineral dannet ved meget højt tryk, og at grafit måtte være dets tilsvarende lavtryksform, idet diamant ved opvarmning til høj temperatur i vakuum eller i ikke il-tende atmosfære omdannes til grafit. (Hvis man derimod opvarmer diamanter i atmosfærisk luft, forsvinder de totalt, idet de iltes til kuldioxid). Først i de senere år er det lykkedes i laboratoriet at omdanne grafit til diamant ved højt tryk, og nu fremstilles industridiamanter i stor målestok af grafit.

Figur 1 viser kulstofs "fasediagram". De to akser angiver henholdsvis temperatur og tryk. I det røde felt findes kulstof som grafit, i det blå felt som diamant og i det grønne felt som en kulstofsmelte. På grænselinien mellem diamant- og grafit-feltet findes diamant og grafit sammen. Af diagrammet ser man, at diamant ikke er stabil ved lave tryk. Den diamant, der findes ved jordoverfladen, er metastabil, det vil sige at den ved en passende mindre energitilførsel kan omdannes til den mere stabile form grafit, og at diamant ikke kan dannes af grafit ved lave tryk.

nente magnetisering i en bjergart skyldes en forholdsvis kraftig "skygge-magnetisering", som kan være forårsaget af for eksempel lynnedslag på lokaliteten. Der er imidlertid også andre processer, der kan være ansvarlige for en omdannelse eller maskering af den ægte "fossile" magnetisme. Forvitring eller foldning af bjergarterne eller blot en trykpåvirkning af bjergarterne kan have en udviskende indflydelse på den oprindelige remanente magnetiseringsretning.

Man må derfor være meget omhyggelig med udvælgelsen af det materiale, der anvendes til undersøgelserne. Er lagene vippede, må man vide, hvordan de er vippede, og man må så korrigere for den bevægelse under målingerne.

Selv om man således har indsamlet prøverne så korrekt som muligt, kan der alligevel ved laboratoriemålingerne vise sig en betydelig spredning og afvigelser i magnetiseringsretningerne. Dette kan endog være tilfældet for vulkanske bjergarter, der jo ellers burde være gode "permanente magneter". Grunden til dette er, at der i tilgift til den naturlige remanente magnetisme til stadighed tilføres bjergarterne ny remanent magnetisme fra det i stadig ændring værende jordmagnetfelt, - selv længe efter bjergartens dannelsesstidspunkt. Disse forstyrrelser, der til en vis grad er til stede i alle bjergarter, betegnes den viskose remanente magnetisme (VRM).

Da man først og fremmest er interesseret i den oprindelige naturlige remanente magnetisme, når man skal bestemme orienteringen af tidligere tiders jordmagnetfelt, prøver man på at fjerne disse sekundære virkninger, der stammer fra den viskose remanente magnetisme og andre mulige skyggevirksomheder.

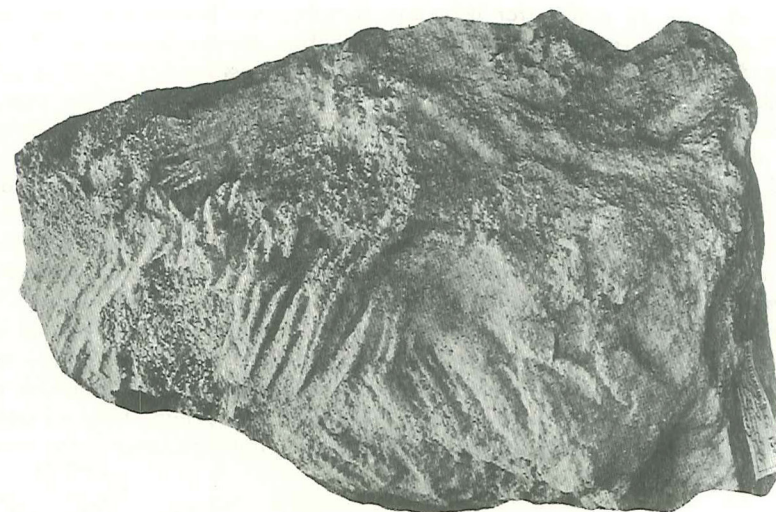
Man udsætter derfor bjergarten for en omhyggelig magnetisk rengøring gennem påvirkning fra stadigt ændrede magnetfelter og opvarmninger. Figur 6 viser et sådant magnetisk rengøringsudstyr. Under rengøringen måler man med mellemrum den remanente magnetisme, der stadig ændrer retning og stadigt formindskes. Til sidst sker der ikke nogen retningsændringer, men kun en stadig formindskelse af den remanente magnetisme, og den målte retning er da det "fossile" jordmagnetiske felts retning.

Den magnetiske rengøring er kun mulig, hvis "skygge"magnetismens og den viskose remanente magnetismes styrke og "hårdhed" (den coercive kraft) er mindre end den oprindelige "fossile" magnetisering. En bjergart kan med andre ord blive så snavset, magnetisk set, at det er umuligt at rense den uden også at fjerne den remanente magnetisme, man er interesseret i at måle. Dette gælder især meget gamle bjergarter og stærkt omdannede bjergarter.

Sharma

RISPEBJERG SANDSTENEN

Om faunaen i Rispebjerg sandstenen ved man kun, at den må have været yderst fattig, idet man hidtil kun har fundet et enkelt krybespor, figur 16, frembragt af et leddyr - utvivlsomt en trilobit, der har haft et lignende udseende som *Holmia* (afbildet i Varv 1964,2 side 30). Miserable rester af denne trilobitslægt er fundet omløjet i Bornholms mellemkambrium. Trilobiter som *Holmia* med slægtninge var ikke ualmindelige i nedre kambrium, og det er påfaldende, at vi ikke kan finde rester af dem i de grønne skifre. De er derimod fundet i små 3000 meters dybde i en boring ved Slagelse.



Figur 16. *Cruziana*, krybespor af en trilobit i Rispebjerg sandsten (x 3/4)

SAMMENLIGNING MED ANDRE LANDE

Det har været nogenlunde nemt for geologerne at fastslå, at Balkasandstenen, de grønne skifre og Rispebjerg sandstenen tilhører nedre kambrium. Vanskelighederne begyndte først, da man skulle til at jævnføre afløjringerne med lag i andre lande, hvor der ofte ses et noget afvigende fossilindhold. Geologer i alle lande arbejder ihærdigt med sådanne opgaver, hvis formål er at indordne alle afdelinger og underafdelinger af de geologiske formationer i den kronologisk rigtige rækkefølge - blandt andet for at kunne følge ændringerne i de geografiske forhold i fortiden. Under arbejdet støder man på den vanskelighed, at den geologiske lagserie over-

alt i verden er ufuldstændig, idet erosionen kan have fjernet et eller flere lag i et landområde, eller der kan have været tidsintervaller uden aflejring. Det forhold vil meget ofte medføre, at det lag, man undersøger, rent tidsmæssigt kan vise sig at svare til et "tomt hul" i lagserien (en stratigrafisk lakune) i tilstødende eller fjernere geografiske områder.

Når et lag skal jävnføres med aflejringer i andre lande, er fossilerne normalt det bedste hjælpemiddel. Geologerne glæder sig da hver gang de finder et fossil, som også kendes fra andre steder.

Bornholms grønne skifre giver et godt eksempel på, hvor vanskeligt det kan være at få et lag anbragt på sin rette hylde. De allerfleste forsteninger i de grønne skifre er nyopdagede arter, der endnu kun er fundet på Bornholm, og som derfor ikke kan benyttes ved jävnføring. Den lille musling *Fordilla* og pogonophoren *Hyolithellus* kendes ganske vist fra en del andre områders nedre kambrium, men disse to fossiler har for lang geologisk levetid i ældre kambrium til, at man ved deres hjælp kan sige, i hvilken underafdeling af nedre kambrium de grønne skifre skal placeres. Der var kun et eneste fossil, der kunne redde situationen, nemlig en art af *Coleoloides*, figur 12, som er fundet i store mængder i et nedre kambrisk lag på en lokalitet i England. På samme engelske lokalitet har man også fundet en hyolith, som er karakteristisk for en bestemt lagserie i Skånes nedre kambrium, men som ikke findes i de grønne skifre på Bornholm. Dermed kunne de grønne skifre da anbringes på samme "hylde" som et lag i England og Skåne. Man havde ganske vist næret mistanke om, at det nævnte skånske lag kunne være jävnaldrende med de grønne skifre, men at det skulle fastslås gennem en sammenligning med et nedre kambrisk lag i England kom som en overraskelse. Eksemplet viser, hvor lang en omvej geologerne undertiden må gå for at få et lag korrekt placeret i det internationale lagskema.

Christian Forulm

VARV

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

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

VARV udkommer fire gange om året. Prisen er 13 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, postgiro 68880. (Moms inkluderet).

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

Eftertryk af tekst og billeder er kun tilladt med kildeangivelse.

alligevel en temmelig kraftig remanent magnetisering parallel med Jordens magnetfelt. Hermed var kemisk remanent magnetisme (CRM) påvist. Den skulle vise sig at få større betydning end først antaget, især da alt tyder på, at de vidtudbredte røde sandstens remanente magnetisme snarere er af kemisk karakter. Man behøver således ikke bekymre sig om de fejl med hensyn til inklinationen, som der måtte korrigeres for, hvis den remanente magnetisme var et resultat af aflejningsprocessen.

"SKYGGE MAGNETISERING" OG MAGNETISK RENGØRING

På ganske særlige lokaliteter, og endog fra prøver, som er skåret ud af borekerner, finder man i nogle tilfælde, at der er flere tilfældige magnetiseringsretninger. En sådan spredt magnetisering i den naturlige rema-



Figur 6. Apparat til afmagnetisering og magnetisk rensning. Palæo-magnetisk laboratorium ved Københavns Universitet.

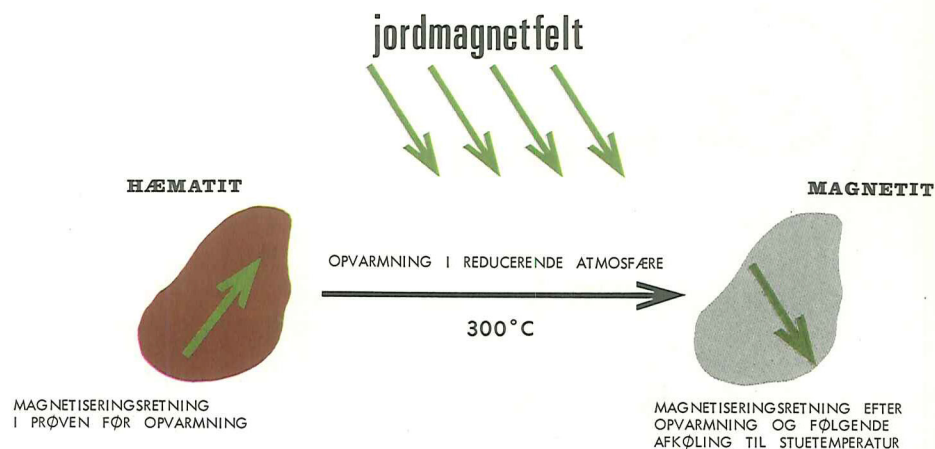
Der er imidlertid ulemper ved anvendelse af sedimentære bjergarters remanente magnetisme (DRM) i studierne af "fossile" magnetretninger. For det første er DRM cirka 100 gange svagere end TRM i for eksempel lavaer, og den kan derfor være vanskelig at måle. For det andet er inklinationen (magnetretningen i det vertikale plan) ikke helt i overensstemmelse med det oprindelige magnetfelts inklinasjon, men cirka 15–20° mindre. For det tredje er DRM almindeligvis ikke så stabil som TRM.

KEMISK "FOSSIL"-MAGNETISME

Selvom sedimenternes naturlige remanente magnetisme i de fleste tilfælde menes at være fremkommet under aflejring (DRM), er der en hel del, der tyder på, at den remanente magnetisme også kan hænge sammen med kemiske ændringer, der har fundet sted efter aflejringen.

I nogle tilfælde dannes, længe efter bjergartens aflejring, nye ferromagnetiske mineraler i bjergarten. Dette sker ved kemiske omdannelser ved temperaturer langt under Curie-punktet. For eksempel kan grundvandet udskille jernoxider og hydroxider, der kan omdannes til hæmatit. Man skulle ikke forvente nogen stærk thermo-remanent magnetisme i sådanne tilfælde, men det viser sig imidlertid alligevel, at ferromagnetiske mineraler, dannet efter aflejringen viser en relativt stærk remanent magnetisme.

For at kunne forstå den kemiske remanente magnetisme udførte K. Kobayashi fra Tokyo universitet et simpelt eksperiment, figur 5, der bestod i - ved cirka 300° C og i jordmagnetfeltet - at danne magnetit ud fra hæmatit. Ved denne temperatur, der er cirka 280° under Curie-punktet for magnetit, ville der næppe opstå nogen TRM, men som forventet opstod der



Figur 5. Kemisk-frembragt remanent magnetisering. Magnetit dannes her ved en omdannelse af hæmatit.

EN TYND PLADE AF LAVA (hornblende-basalt fra Aussig) I POLARISATIONSMIKROSKOP, FORSTØRRET 15 GANGE



Ved gennemlysning af den tynde plade med lys polariseret i én retning ses (øverste billede) mineralernes farver, spaltelighed og omdannelse. Her ses forskellen på de store strørkorn (1–2 mm store krystaller) og den fin-kornede grundmasse. Indskydes der over præparatet et ekstra polarisationsfilter vinkelret på det første filters retning burde der ikke komme lys op til øjet. Men på grund af lysbrydning i mineralerne opstår et synligt farvespil (interferens) som her hjælper til at bestemme flertallet af strørkornene som hornblende (nederste billede). Det store korn nederst til venstre er augit.

FORSTENEDE MAGNETER

P.Vallabh Sharma

GAMLE BÅL OG MODERNE VIDENSKAB

Scenen er en arkæologisk udgravning og i udgravningens mange faser er man nu nået til bålstedet, hvor oldtidens mad blev tilberedt, og hvor lerkarrene blev brændt (figur 1). Med libeller og kompasser indmåles den nøjagtige orientering af brændte lerklumper og potteskår, og som om de var værdifulde smykkefund, bringes de til laboratoriet. Her måles magnetiseringsretningen for hvert potteskår med følsomme magnetometre.

Hvorfor nu så omhyggelig med disse brændte stumper?



Figur 1. Ildsted og lerkar fra en jernalderlandsby ved Hurup i Nordvestjylland. (Nationalmuseet fot.)

MAGNETISKE "FOSSILER" I SEDIMENTER

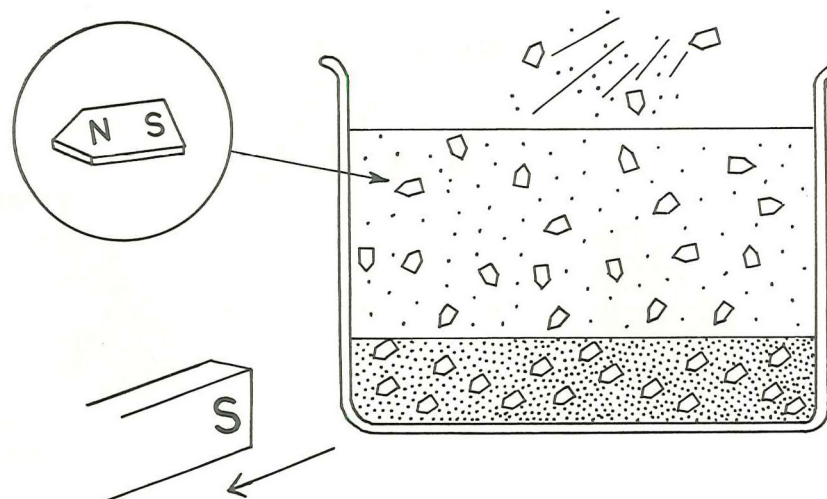
Til at begynde med koncentrerede man sig især om studiet af bjergarter, der var størknede fra et flydende magma, da disse bjergarter jo besad TRM, der især er let at måle. Senere, og især efter 1950, har man også arbejdet med sedimenter. Sedimenter er mere velegnede til magnetiske studier dækkende længere geologiske perioder, da aflejningsprocessen i højere grad er kontinuerlig i modsætning til de mere sporadiske vulkanudbrud.

Sedimenterne har imidlertid i modsætning til lavaerne ingen thermoremanent magnetisme, og det er da også andre mekanismer, der gør at disse bjergarter kan bevare det jordmagnetiske felts retning fra aflejningsøjeblikket.

Dette belyses af det lille eksperiment, der er illustreret i figur 4. Her er små magnetnåle blandet med sand og denne blanding hældes lidt efter lidt i vand i en glasbeholder. En magnet anbragt under glasset sørger for at denne kunstige sedimentationsproces foregår i et magnetfelt. Hvis vi bagefter måler på aflejringerne i glasset, finder vi, at den remanente magnetiserings retning ligger tæt op ad eksperimentets magnetfelts retning.

Det skyldes, at alle de små magnetiske nåle orienterer sig i overensstemmelse med magnetfeltet, idet de falder ned i vandet, og denne orientering fastholdes efter aflejringen af sandskornene, og ændres ikke selv om man fjerner magnetfeltet.

Således må man forestille sig sedimentære bjergarters remanente magnetisme (DRM) dannet.



Figur 4. Laboratorieeksperiment, der viser dannelsen af remanent magnetisme ved aflejring.

Magnetit - eller magnetjernsten - er, som navnet også siger, stærkt magnetisk. Hæmatit - jernglans eller blodsten - er nogle hundrede gange svagere i sin magnetiske intensitet. Ren magnetit (Fe_3O_4) og hæmatit (Fe_2O_3) indeholder kun jern og iltatomer. Ofte er imidlertid en del af jernet i hæmatit og magnetit udbyttet med andre atomer, især titanium. Sådanne titano-magnetiter og titano-hæmatiter er derfor oftest de ansvarlige mineraler, når det gælder bevarelsen af gamle magnetiske retninger fra bjergarternes dannelsesetidspunkt.

VULKANSKE BJERGARTER SOM PERMANENTE MAGNETER

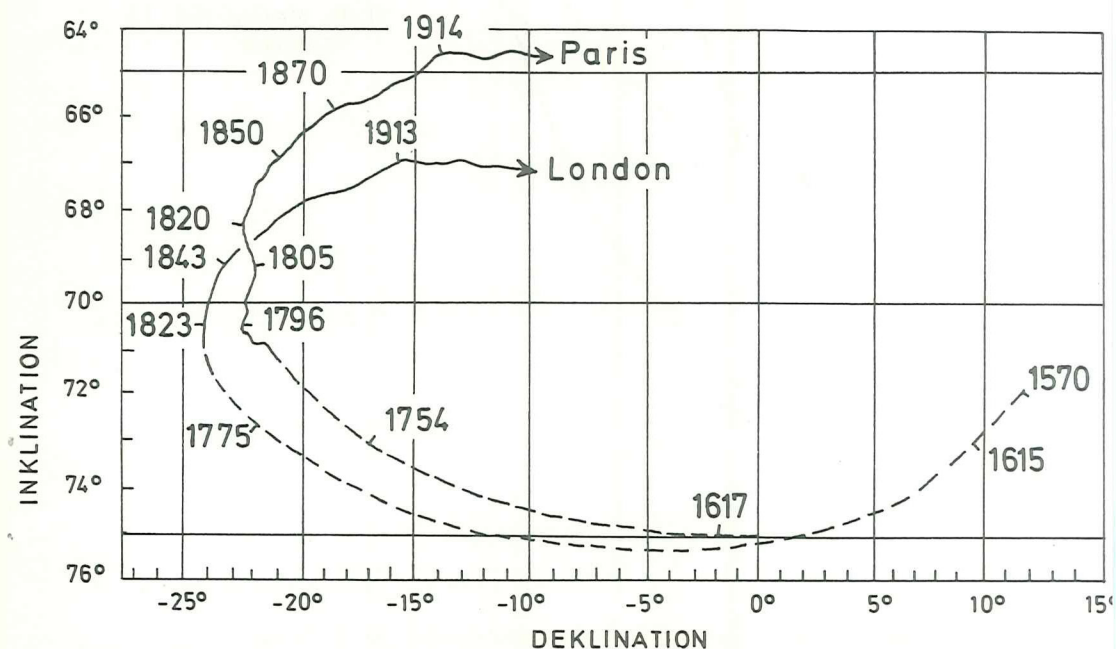
En fastsiddende bjergarts remanente magnetisme ude i naturen betegnes ofte den naturlige remanente magnetisme (NRM). En vulkansk bjergart har et NRM i overensstemmelse med det herskende jordmagnetfelt på det tidspunkt, hvor den størknede fra flydende lava. De fleste vulkanske bjergarter viser sig at have en relativt stærk og stabil remanent magnetisme - en såkaldt thermoremanent magnetisme (TRM). Thermoremanent magnetisme kan eftervises i laboratoriet ved at opvarme en bjergart til høj temperatur og derefter afkøle den i et svagt magnetfelt, som for eksempel det nuværende jordmagnetiske felt. Herved viser det sig, at en magnetiserbar substans - for eksempel en bjergart - opnår langt størsteparten af sin TRM, idet temperaturen under afkølingen passerer materialets Curie-punkt, det vil sige den temperatur, hvor magnetiserbarhed overhovedet er mulig. Laboratorie-eksperimenter har for eksempel vist, at en bjergart med et Curie-punkt på 500°C , opnår næsten alt sin TRM, idet temperaturen passerer fra 500°C til 450°C .

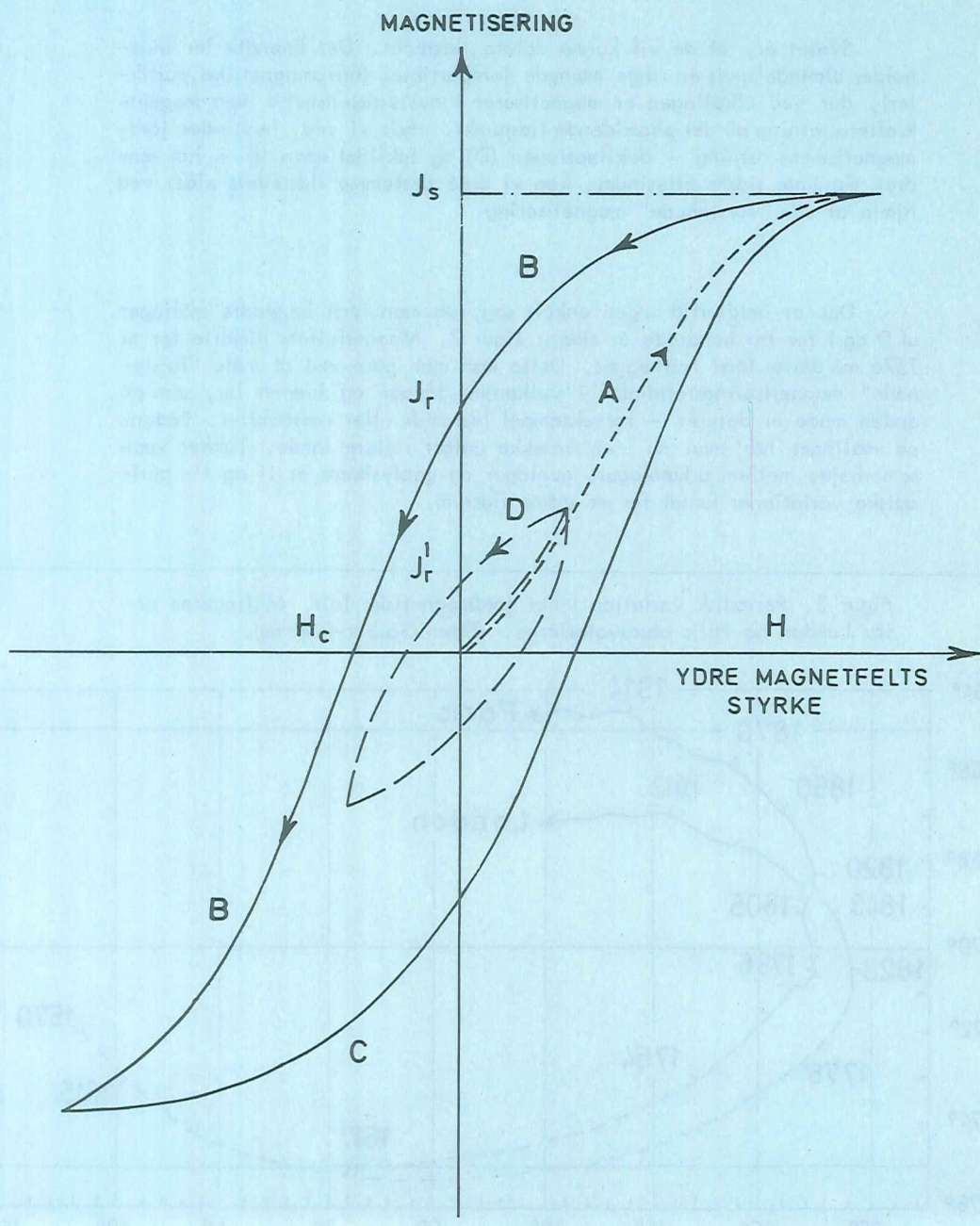
TRM er ikke blot stærk, men den er også stabil. Almindelig remanent magnetisme, stammende fra et magnetfelt på 1 Ørsted, ville fuldstændig forsvinde ved en svag opvarmning, eller ved at den udsættes for et modsat rettet felt på cirka 1 Ørsted. TRM, som er opnået i et felt på 1 Ørsted, vil derimod ikke påvirkes væsentligt i et modsat rettet magnetfelt på selv flere hundrede Ørsted, og opvarmning vil heller ikke have nogen indflydelse, medmindre temperaturen hæves helt op i nærheden af Curie-punktet. TRM yder derfor stor modstand eller stor coersiv kraft. Vi har lige set, at en stor remanent magnetisme og en stor coersiv kraft netop er karakteristisk for gode permanente magneter. Vulkanske bjergarter og brændt ler, som for eksempel potteskår, er derfor også ideelle permanente magneter. Det vil sige, at netop disse bjergarter forbliver upåvirkede gennem lange tidsrum, og de kan derfor anvendes som vidnesbyrd om jordmagnetfeltets egenskaber i fortiden.

Svaret er, at de vil kunne datere ildstedet. Det brændte ler indeholder almindeligvis en ringe mængde jernpartikler (ferromagnetiske partikler), der ved afkølingen er magnetiseret i overensstemmelse med magnetkraftens retning på det pågældende tidspunkt. Hvis vi ved, hvorledes jordmagnetismens retning - deklinationen (D) og inklinationen (I) - har ændret sig i de sidste årtusinder, kan vi også bestemme ildstedets alder ved hjælp af den "forstenede" magnetisering.

Det er imidlertid ingen enkelt sag, da man først begyndte målinger af D og I for tre hundrede år siden, figur 2. Magnetfeltets historie før år 1576 må derfor først fastlægges. Dette kan man gøre ved at måle "forstenede" magnetiseringsretninger i vulkanske lavaer og brændt ler, som på anden måde er dateret - for eksempel historisk eller radioaktivt. Sådanne målinger har man nu i en årrække udført i flere lande. Takket være samarbejde mellem arkæologer, geologer og geofysikere er D og I's periodiske variationer kendt for et større tidsrum.

Figur 2. Periodisk variation i det jordmagnetiske felt. Målingerne er fra London og Paris observatorierne. (Efter Gaibar-Puertas).





Figur 3. Magnetiseringskurve (hysterese-kurve) for et ferromagnetisk materiale.

De første interessante studier over "fossil"-magnetisme i bjergarter og brændt ler udførtes i 1938 i Tyskland af J.G.Königsberger og E.Thellier i Frankrig. Siden sidst i fyrrerne er disse studier blevet et af de mere yndede emner indenfor geofysikken, og resultaterne, der belyser ændringerne i Jordens magnetfelt, har blandt andet ført til nye opfattelser i de kontroversielle spørgsmål om polvandring og kontinentaldrift.

FYSIKKEN BAG "FOSSIL"-MAGNETISME

Magnetisering af ferromagnetisk materiale gennem et ydre magnetfelt er vist på figur 3 - en såkaldt hysterese-kurve. Hvis man udsætter magnetiserbart materiale, som ikke i forvejen er magnetiseret for et magnetfelt, vil magnetiseringen (J) stige med styrken af magnetfeltet (H) efter den punkterede linie (A). På et vist tidspunkt stiger magnetiseringen ikke mere (J_s). Materialet er nu mættet med magnetisering. Hvis nu man lader det ydre magnetfelts styrke falde, aftager magnetiseringen af materialet efter kurven B og ikke efter kurven A. Selv hvis det ydre magnetfelts styrke falder til nul, vil det magnetiserede materiale alligevel have beholdt lidt magnetisme (J_r), - den såkaldte remanente magnetisme. Hvis det magnetiserede materiale er hårdt jern, vil den remanente magnetisme være stor - jernet er en permanent magnet.

Hvis man så vender det ydre magnetfelt modsat, vil magnetiseringen aftage langs kurven B og nå nulpunktet, når det ydre felt når en bestemt værdi (H_c). Denne værdi for det negative felt (H_c), ved hvilken der er opnået total afmagnetisering, kaldes den coercive kraft. Denne kraft er i virkeligheden - for det pågældende stof - den remanente magnetismes modstand mod afmagnetisering. En stor coerciv kraft er en forudsætning for en stabil permanent magnet.

For at kunne frembringe remanent magnetisme i et magnetiserbart materiale, er det ikke nødvendigt at nå helt op på mætningspunktet (J_s). Et ganske svagt magnetfelt er tilstrækkeligt. I et sådant tilfælde følges kurven D, og lidt remanent magnetisme (J_r') er frembragt. Det er netop dette der sker i naturen, når en bjergart, der indeholder ferromagnetiske mineraler, udsættes for Jordens svage magnetfelt med en intensitet på cirka 1 Ørsted.

MINERALER OG "FOSSIL"-MAGNETISME

Det er ikke alle bjergartsdannende mineraler, der er ferromagnetiske, men en bjergart indeholder som regel små korn af jernoxider - magnetit og hæmatit. Det er oftest disse to mineraler, der - selvom de kun udgør 1% af bjergarten - er ansvarlige for bjergartens svage magnetiske egenskaber. Målt med følsomme instrumenter kan man fremstille en hysterese-kurve og derved få et indtryk af bjergartens remanent-magnetiske egenskaber.