

# VARV

NR. 1 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1990



HEROVER SES LAGDELTE PLATEAUBASALTER FRA GÅSELAND ØST FOR SCORESBY SUND I ØSTGRØNLAND. BASALTERNE BLEV DANNET I FORBINDELSE MED NORDATLANTENS ÅBNING FOR CA. 60 MILLIONER ÅR SIDEN. VARV SER OGSÅ NÆRMERE PÅ DE GULDFØRENDE BJERGARTER VED KANGERDLUGSSUAQ I ØSTGRØNLAND, – ER DER SÅ MEGET, AT BETALINGSBALANCEPROBLEMERNE KAN LØSES EN GANG FOR ALLE ? ENDELIG BRINGES FØRSTE DEL AF EN ARTIKEL OM BRACHIOPODER, DER SOM FOSSILER OPTRÆDER ALMINDELIGT I DANSKE AFLEJRINGER.

## BORNHOLMS GEOLOGI – EKSURSION OG FELTKURSUS

Folkeuniversitetet i København afholder et sommerkursus på Bornholm i dagene 7. – 9. august 1990. Indkvartering finder sted på Københavns Universitets feltstation ved Åkirkeby.

På kurset introduceres geologiske processer og materialer i felten. Under daglige ekskursioner gennemgås Bornholms Geologi, hvor de forskellige bjergartstyper og deres dannelsesmiljø behandles. Der vil blive lejlighed til at analysere de indsamlede fossiler og bjergartsprøver i mikroskop i feltstationens laboratorium.

Nærmere oplysninger fås ved henvendelse til *Folkeuniversitetet i København, Købmagergade 52, 1150 København K, tlf.: 33 14 48 27.*

## GULDGRAVERTUR I NORDSKANDINAVIEN

Der tilbydes en 14 dages bustur fra 12. – 25. august med overnatning i hytter og telte. På turen besøges Skandinaviens eneste aktive guldmine og smelteværk, hvor guldets vej fra råmalm til barrer følges.

Under et 3 dages ophold i Laplands ødemark bliver der lejlighed til selv at vaske guld i et af Finlands rigeste guldområder. Endelig besøges spændende mineralforekomster, hvor vi går på jagt med hammer og mejsel.

Turen ledes af en guldekspert og erfaren malmgeolog. Deltagerantallet er maksimalt 20 personer, og prisen er 4.700 kr. Tilmelding skal ske senest 15. maj 1990 til *Nils Esser (tlf.: 53 63 37 35)* eller til *Uffe Witt (tlf.: 42 64 34 30 efter kl. 17).*

## ===== VARV =====

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Centralinstitut, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Telefon: 33 11 22 32.

Telefoniske bestillinger og forespørgsler kan rettes til: Svend Pedersen og Steen Sjørring på ovenstående telefonnummer.

Skriftlige henvendelser og bestillinger ekspederes snarest muligt.

Redaktion: Svend Pedersen (ansvarshavende), Asger Berthelsen, Jens Konnerup-Madsen, Lena Madsen, Steen Sjørring og Vivianne Berg-Madsen (Sverige).

Renskrift og

montage: Steen Sjørring

Repro: FBN Litho ApS, København

Tryk: Johnsen+Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 75 kr i abonnement for 1990. Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80, eller 70 SKr til VARVs svenske postgirokonto 4388-5.

Adresseændringer bedes meddelt Postvæsenet.

©1990 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale.

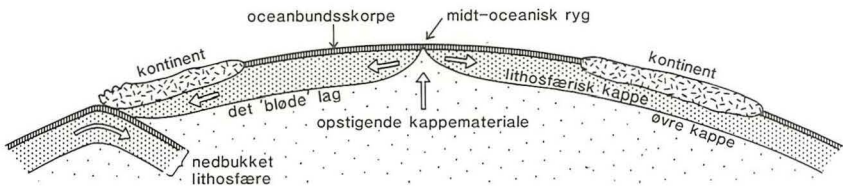
# BASALTER I ØSTGRØNLAND



af Lotte Melchior Larsen

## Pladetektonisk baggrund

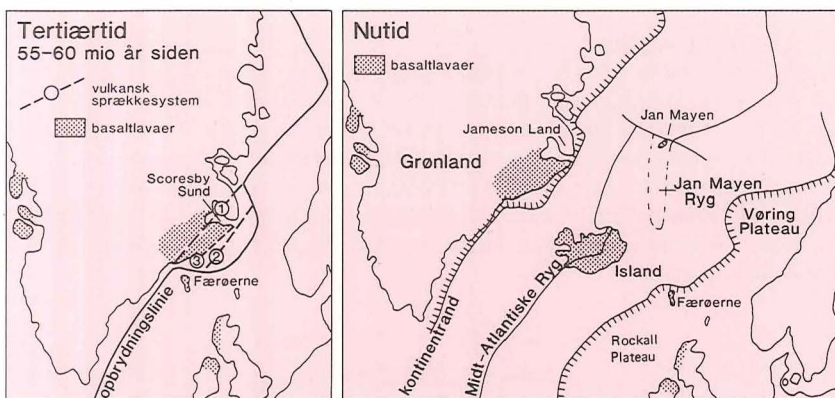
Jordklodens system af midtoceaniske rygge markerer grænser, langs hvilke Jordens store plader glider fra hinanden, og hvor der sker nydannelse af jordskorpe (fig. 1). Størstedelen af skorpen under oceanerne består faktisk af relativt nydannet 'oceanbundsskorpe' – ingen dele af oceanbundsskorpen under de nuværende oceaner er mere end 200 millioner år gamle, hvilket er ungt sammenlignet med kontinenternes aldre på op til 3700 millioner år. I det nordlige Atlanterhav, som behandles her, er oceanbundsskorpen endda ikke over 60 millioner år gammel.



Figur 1. Skematisk snit gennem Jordens yderste lag visende pladernes opbygning og bevægelse. Ny oceanbundsskorpe dannes til stadighed langs den midtoceaniske ryg, hvor pladerne glider fra hinanden på 'det bløde lag', astenosfæren. 'Pladeproblemet' løses ved, at oceanbundsskorpe med vedhængende stive kappe (lithosfæren) andre steder bukkes ned og genoptages i den dybere kappe.

Langs de midtoceaniske rygge stiger kappematerialet op mod overfladen fra større dybder, dvs. mod lavere tryk. Dette er årsagen til, at det opstigende materiale smelter delvis op. Smelterne (magmaerne), der er lettere end det omgivende kappemateriale, stiger videre opad og kan enten løbe ud på jordoverfladen (i regel under havet) som lavaer eller størkne i fødekanalerne som 'gange'. I alle tilfælde opbygges den nydannede skorpe af disse størknede smelter, som har en sammensætning, der betegnes som basaltisk.

Indtil tidlig Tertiærtid for ca. 60 millioner år siden var Nordeuropa og Nordamerika (inklusive Grønland) en sammenhængende kontinentplade, fig. 2. Derefter skete der – i løbet af få millioner år – en række geologiske begivenheder, der førte til dannelsen af Atlanterhavet og havet mellem Grønland og Nordamerika: Kontinentpladen blev brudt op, og store mængder af basaltisk lava strømmede nogle steder ud på kontinentrandene. Endnu mere vulkansk materiale indgik i den nye oceanbundsskorpe, som dannedes mellem den europæiske og den amerikanske plade, efterhånden som disse gled fra hinanden. Størsteparten af de nydannede skorpeområder og af de indsunkne dele af kontinentrandene dækkedes af Atlanterhavet. Denne skorpedannelsesproces fortsætter i dag langs den midtatlantiske ryg, der udgør grænsen mellem den europæiske og den amerikanske plade.



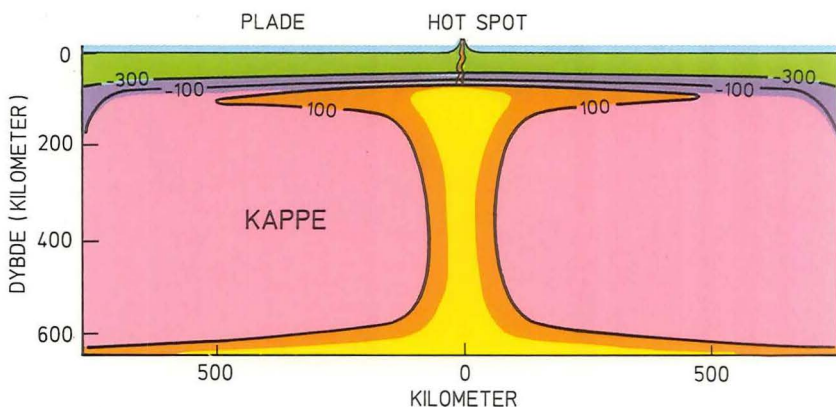
Figur 2. Nordatlanten før opsprækningen startede og i dag. Lavaer over havniveau er vist med prikket signatur. Dertil kommer store mængder havdækkede lavaer på Rockall, Færø og Vøring plateauerne samt selve den nydannede oceanbundsskorpe mellem kontinenterne. Lavaerne betegnes under et som 'den nordatlantiske basaltprovins'. De tre vulkanske sprækkesystemer (1), (2) og (3) i Østgrønland omtales i teksten.

Bemærk, hvorledes den europæiske kontinentrand er sunket ned under havniveau og strækker sig meget langt ud i Atlanterhavet. Det er på disse havdækkede kontinentområder, der er muligheder for at finde olie og gas.

De lavaer, der aflejedes på kontinenternes randzoner ved begivenhedernes start for 50–60 millioner år siden, findes i dag i Øst- og Vestgrønland, på Færøerne, i Skotland-Irland og på de havdækkede Rockall, Færø- og Vøring plateauer i Atlanterhavet. De senere tiders lavaer er mest havdækkede, men Island, hvor der stadig er aktiv vulkanisme langs den midtatlantiske ryg, er en velkendt undtagelse. Alle disse områder udgør tilsammen den nordatlantiske basaltprovins (fig. 2 og 4).

De fleste basalter i den nordatlantiske basaltprovins har karakteristiske fælles træk i deres kemiske sammensætning. De adskiller sig derimod på en række punkter fra de basalter, der er produceret langs størsteparten af den havdækkede del af den midtatlantiske ryg. Dette sammensætningsmønster skyldes muligvis forskelle i sammensætningen af de områder i den øvre kappe, hvori basalterne er dannet ved en delvis opsmeltning. I kappen under Island er der i dag et højtemperatur-område (et 'hotspot'), som formodes at hænge sammen med en opstrømning (en 'plume') af varmt kappemateriale fra større dybder. Dette materiale har en sammensætning, der afviger fra det omgivende kappemateriale.

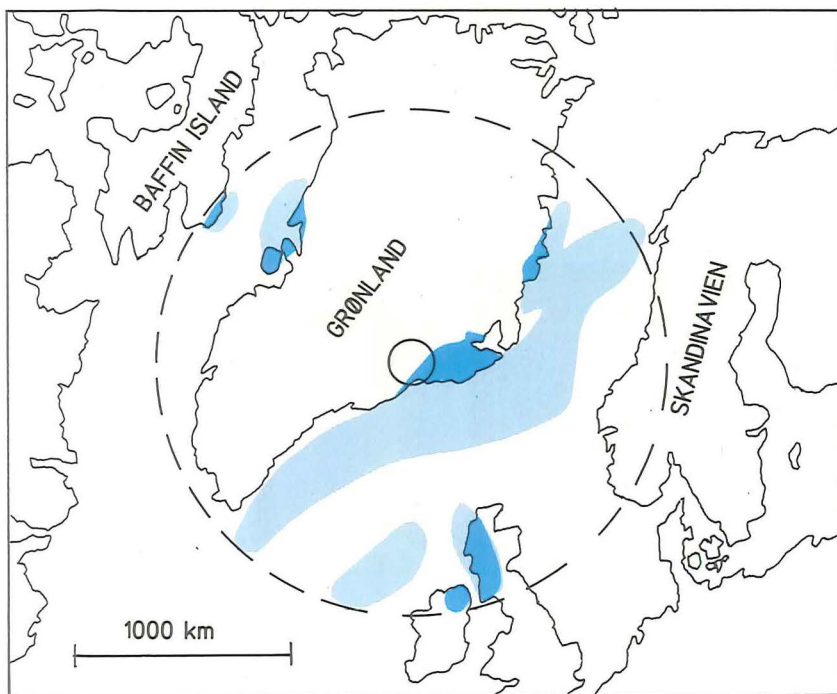
Under opbrydningsfasen i tidlig Tertiærtid eksisterede dette 'hotspot' også, men dets mulighed for at øve indflydelse på basalternes sammensætning i så vidt adskilte områder som Vest- og Østgrønland, Færøerne og Skotland har været stærkt omdiskuteret. I 1989 er der imidlertid fremsat en teori om sammenhængen mellem 'hotspots' og kontinentopbrydning. Teorien er egentlig ikke ny, men den hviler nu på et betydeligt fastere eksperimentelt grundlag. Den er udførligt omtalt i en artikel af R.S. White og D.P. MacKenzie i *Scientific American*, juli 1989.



Figur 3. Skematisk snit gennem et område med opstigende kappemateriale, en såkaldt 'plume'. Opstigningen foregår i en ret snæver 'stilk', og under lithosfæren breder den varme kappe sig ud som en paddehat. Temperaturangivelserne er afvigelser fra den øvre kappes middeltemperatur, som er på 1340°C. Farverne angiver, hvad der er relativt varmt og koldt. På jordoverfladen vil den største varmestrøm oftest findes lige over centret, i et såkaldt 'hotspot', som f. eks. på Island i dag.

I følge denne teori har det varme, opstrømmende kappemateriale i en 'plume' form af en paddehat (fig. 3): Den dybe opstrømning foregår i en 100-200 km bred lodret stamme, men når materialet når op i astenosfæren (det bløde lag)

under lithosfæren (skorpen og dertil koblet kappe ned til 100 km's dybde, se fig. 1), breder det sig ud til alle sider i en stor pude, der kan få en diameter på over 2000 km. Herved kan en eventuel indflydelse af 'plume'-kappe i alle de adskilte nordatlantiske basaltområder forklares (fig. 4). White og MacKenzie påstår endvidere, at kontinentopbrydningen simpelthen forårsages af en 'plume', der presser på kontinentet nedefra, hvorefter dette revner langs en eller flere svaghedszoner. Kombinationen af revnedannelse og underliggende ekstra varmt kappemateriale fra 'plumen' forårsager dannelse af store mængder smelte og en deraf følgende kraftig vulkansk aktivitet på jordoverfladen. Fordelingen af ekstraordinært store mængder basalt inden for cirklen i fig. 4 er slående.

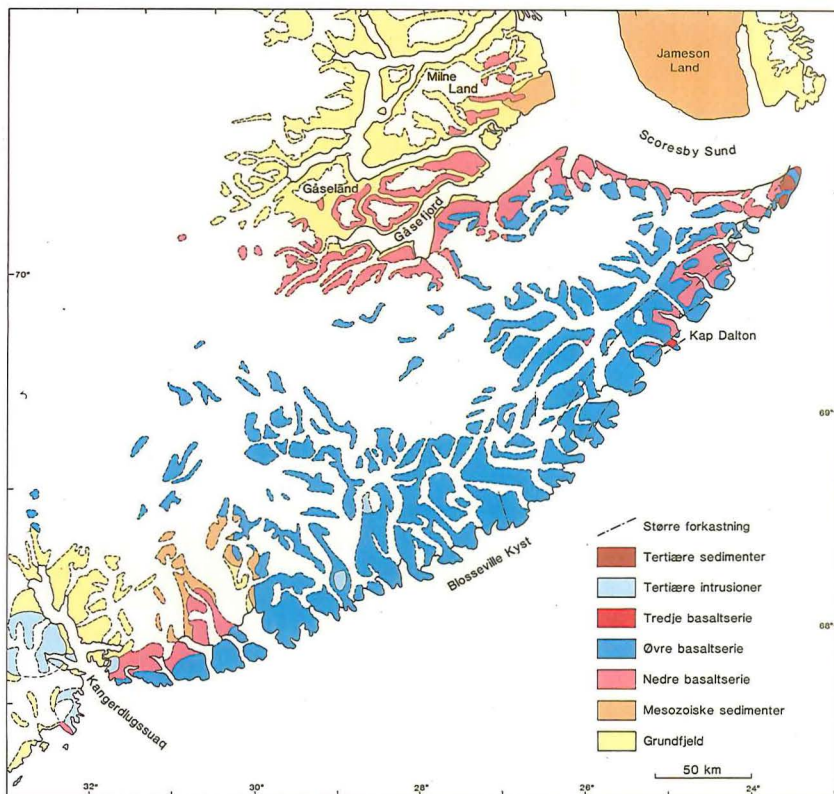


Figur 4. Nordatlanten før kontinentopbrydningen. Centrum af den varme 'plume' i kappen er placeret i Østgrønland. Hvis 'plumens' paddehathoved har været udbredt inden for et område med en diameter på 2400 km, har den kunnet levere materiale og varme til alle basaltområderne på land (mørkeblå) og til alle de havdækkede områder med basalter fra opbrydningstiden (lyseblå).

#### De østgrønlandske basalter

De største og tykkeste sammenhængende områder over havniveau med lavaer fra begivenhedernes start i tidlig Tertiærtid findes i Østgrønland mellem Kan-

gerdlugssuaq og Scoresby Sund (fig. 5). Den flere kilometer tykke, velblottede lavaserie gør det muligt at følge vulkanismens udvikling i tid og rum under kontinentopbrydningen.



Figur 5. Geologisk kort over Østgrønland mellem Kangerdlugssuaq og Scoresby Sund.

Under opbrydning af et kontinent starter skorpedannelsesprocessen med dannelse af basaltiske smelter som ovenfor beskrevet, og både opsmeltet kappemateriale fra 'plumen' og fra astenosfæren kan indgå i smelterne. De først dannede smelter under kontinentet trænger desuden op gennem tykke lag af både lithosfærens kappe og kontinentsskorpen, hvorved de får mulighed for at reagere med disse og skifte sammensætning undervejs mod overfladen. De basalter, der dannedes på den østgrønlandske kontinentrand, kan således være påvirket af komplekse forhold i både jordens kappe og i kontinentsskorpen.

Feltundersøgelser af de østgrønlandske basalter frembyder store vanskeligheder, fordi terrænet er alpint og delvis isdækket, og afstandene er meget store. Basalterne i Kangerdlugssuaq-området er undersøgt af geologer fra Københavns Universitet, mens basalterne i Scoresby Sund-området er undersøgt af Grønlands Geologiske Undersøgelse. Det mellemliggende område er næsten utilgængeligt, men et helhedsbillede af områdets vulkanske historie er alligevel begyndt at tegne sig.

De oprindelige smelter (magmaer), dannet ved opsmeltning i jordens kappe, steg til vejrs og samledes i store reservoirer (magmakamre). Et sandsynligt samlingssted for magma er grænsen mellem skorpen og kappen ('moho'), hvor der er et stort spring i bjergarternes massefylde. 'Moho' ligger i Østgrønland i ca. 25 km's dybde. Ingen af de magmaer, der nåede overfladen, og som nu findes som lavaer, repræsenterer den oprindelige, primære kappesmelte. Deres kemiske sammensætning viser tværtimod, at de må have opholdt sig et godt stykke tid i magmakamre på højt niveau (10–15 km's dybde) i jordskorpen, så der må have været magmakamre i flere etager.

I de højtliggende magmakamre udvikledes magmaet ved stadig krystallisation og periodevis tilskud af frisk magma fra dybet, samt tab af materiale ved vulkanudbrud. Der findes matematiske formler for magmaets kemiske udvikling under denne sammensatte proces, og ved hjælp af disse formler kan den kemiske udvikling af lavaerne med tiden i nogle tilfælde efterlignes ganske godt.

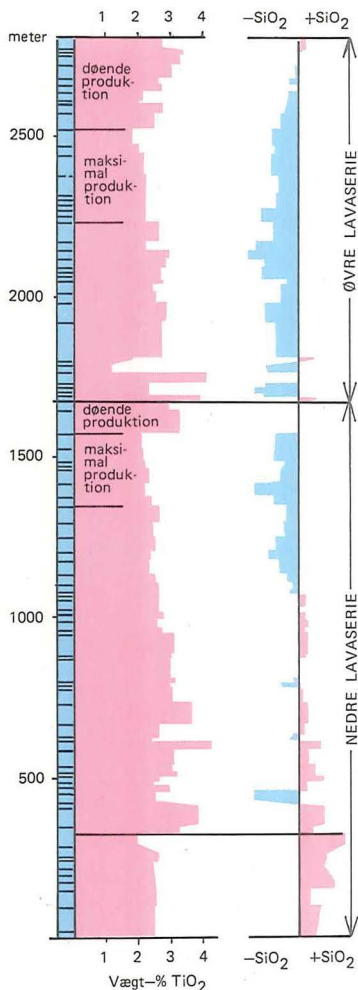
Der skete også en vis opblanding med skorpemateriale fra kontinentet, især i nogle af de tidligste lavaer, som dannedes samtidig med, at den første udvikling af magmakamre i skorpen fandt sted. De senere lavaer viser kun i enkelte tilfælde tegn på at have optaget skorpemateriale, mens de alleryngste lavaer viser tegn på indflydelse fra den første oceanskorpe i området.

Mange af lavaerne i Østgrønland er meget store: 20–60 km<sup>3</sup> pr udbrud er almindeligt, og den største påviste lava er på knap 300 km<sup>3</sup> og kan følges over et areal på 200 x 60 km. Dette stiller nogle meget alvorlige krav til størrelsen af de magmakamre, som lavaerne kom fra, for geofysikerne kan beregne, at kun ca. 0,5 % af kammerets indhold kan aftappes ved et udbrud. Derefter er det nødvendige overtryk væk, med mindre kammerets tag styrter ind, hvad intet tyder på er sket i Østgrønland. Hvis vi, for at være forsigtige, henviser de relativt få og meget store lavaer til uforklarede specialtilfælde, har vi alligevel 'almindelige' lavaer på op til 60 km<sup>3</sup>, og hvis dette er max. 0,5 % af kammerets indhold, har dette været på min. 12000 km<sup>3</sup>. Alle disse tal er en størrelsesorden større end de tilsvarende tal for udbrud på Island i dag: 'Normale' udbrud på Island er i reglen på omkring 1 km<sup>3</sup> eller derunder, og det største kendte islandske udbrud er på ca. 14 km<sup>3</sup> (Eldgjá, dannet år 934). Magmakamrene er tilsvarende mindre, f. eks. er det magmakammer, der føder det i øjeblikket aktive Krafla system på 74 km<sup>3</sup>



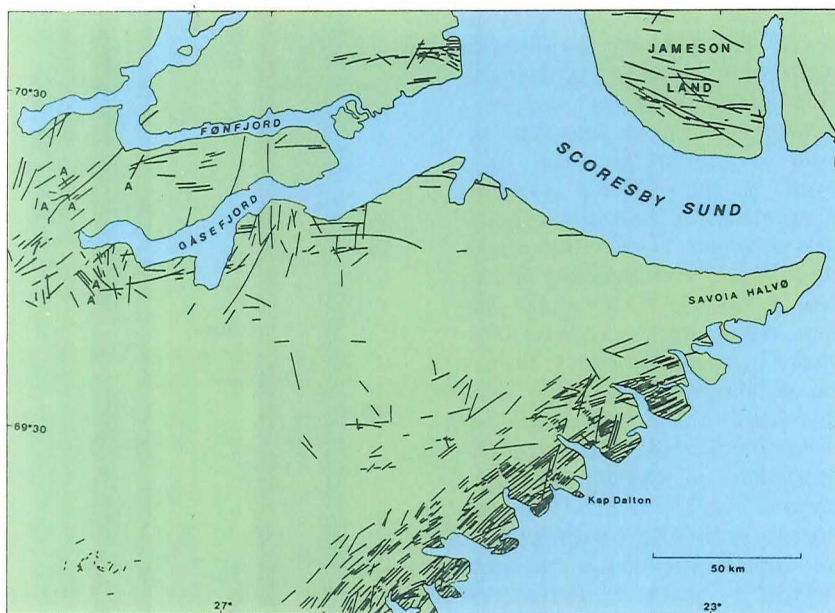
På trods af den store forskel i de nævnte magmakammerstørrelser er de beregnede *produktiviteter* (mængden af dannet magma per tidsenhed) for Østgrønland og Island faktisk ens. Forskellen ligger i udbrudshyppigheden, som er betinget af den tektoniske situation: I det tykke stive kontinent i Østgrønland samledes store magmamængder, som kom til udbrud med meget lange mellemrum, mens den aktive spredningszone i Island sender små portioner lava op med korte mellemrum. Dette skal islændingene nok være glade for, idet den islandske variant er betydeligt fredeligere, end den grønlandske var!

Figur 6. Et sammensat profil gennem øvre og nedre basaltserie i Scoresby Sund-området. Til venstre viser en skematisk søjle de enkelte lavastrømmes tykkelser, og den samlede tykkelse er angivet i meter. I midten viser kurven lavaernes indhold af grundstoffet titan, her i form af  $TiO_2$ . Dette grundstof koncentrerer sig i restsmelten under krystallisation i magmakammeret, og jo højere titanindholdet er i en lava, jo længere tid har denne portion magma stået og udfældet krystaller i magmakammeret. Bortset fra de allerførste lavaer viser både den nedre og den øvre lavaserie faldende titanindhold med tiden. Dette afspejler en stigende magmaproduktion i dybet og deraf følgende kortere opholdstid i magmakammerne. Lavaerne med det laveste titanindhold er dannet i tidsrum med maksimal produktion. I begge de to episoder stoppede produktionen ret brat, og magmakammerne 'døde'. Et tyndt sedimentlag adskiller de to episoders lavaer. Kurven til højre viser lavaernes mætningsgrad med kiseltsyre,  $SiO_2$ . Kontinentskorpe er meget  $SiO_2$ -rig, og  $SiO_2$ -overskuddet i de nederste lavaer er formentlig opstået ved indblanding af små mængder smeltet kontinentskorpe i disse lavaer.



### Tre vulkanske episoder

Det store basaltområde mellem Kangerdlugssuaq og Scoresby Sund er i hovedsagen opbygget af to på hinanden følgende lavaserier. Begge er tykket i Kangerdlugssuaq-området, henholdsvis 2 km og 5 km, og tynder ud nordpå til ca. 1 km's tykkelse hver i Scoresby Sund-området. I Scoresby Sund-området viser de to lavaserier begge systematiske kemiske variationer med højden. Dette afspejler en dannelse i to adskilte vulkanske episoder, hver med først stigende, og til slut hendørende magmaproduktion (fig. 6). Noget lignende er formodentlig tilfældet i Kangerdlugssuaq-området, hvor forholdene dog synes mere komplicerede.



Figur 7. Basaltgange nord for 69°N. Den ret spredte sværm i Gåsefjord-Jameson Land-området er fødegange for den nedre lavaserie (første episode). Den tætliggende sværm parallel med Atlanterhavskysten er fødegange for lavaerne fra den tredje episode, som nu kun er bevaret ved Kap Dalton. Fødegange for lavaerne fra den anden episode (øvre lavaserie) lå formodentlig sydøst for den nuværende Atlanterhavskyst.

I Scoresby Sund-området stammer lavaerne fra den første episode fra udbrudssteder i indlandsområderne omkring Gåsefjord (fig. 7). De første lavaer var ikke særlig store, og de synes alle at have optaget 1–2 % kontinentsskorpe. Da det eller de meget store magmakamre derefter var etableret, blev lavaerne store og udbredte, og bidraget fra kontinentsskorpen mindskedes og forsvandt. Fødeka-

nalerne til disse udbrud ses nu som en ret spredt sværm af gange i et ca. 200 x 60 km stort område. Hvis det antages, at dette areal angiver magmakammerets udbredelse, ses det, at selv et magmakammer på 12000 km<sup>3</sup>, som anslået oven for, ikke har problemer med pladsen: Denne magmamængde kan placeres i en flad, langstrakt ellipsoide (den mest sandsynlige form) med tværmål på f.eks. 150 x 30 x 5 km.

De samtidige lavaer i Kangerdlugssuaq-området omfatter store mængder tuffer og undervandslavaer, som viser transport fra udbrudssteder i syd, uden for den nuværende kystlinie, og mod nord ind i et delvist vandfyldt bassin. Der er altså tale om samtidig lavaproduktion fra to vulkansystemer, der også producerede lavaer med meget forskellige kemiske karaktertræk: Lavaerne i Kangerdlugssuaq er ekstra rige på grundstoffer som titanium, fosfor, zirkonium og niobium. Mange lavaer har også opholdt sig i meget kortere tid i magmakamrene (de er mindre 'udviklede') end de samtidige lavaer i Scoresby Sund-området. Disse træk kan skyldes en større indflydelse fra centraldelen af den varme 'plume' i Kangerdlugssuaq (fig. 4), som muligvis i forbindelse med den begyndende kontinentspredning (se nedenfor) har opsmeltet dele af den højereliggende kappe (lithosfæren) rige på titanium m.m.



Figur 8. Lavaerne ved Atlanterhavskysten. I forgrunden ses nedre lavaserie og i baggrunden øvre lavaserie. Lavaerne er gennemskåret af lodrette gange fra den tætte kystparallelle gangsværm.

Grunden til, at man med ret stor sikkerhed kan sige, at disse begivenheder var samtidige i Kangerdlugssuaq og Scoresby Sund, er, at der i to tilfælde i Scoresby Sund-området nedre serie er fundet lavaer af Kangerdlugssuaq-typen. Disse magmaer har ikke haft selvstændige kamre i Scoresby Sund-området, men er trængt ind i de lokale magmakamre og har i et tilfælde produceret en lava, hvis kemiske sammensætning viser, at den er en simpel blanding af de to typer. Disse fremmede magmaer må have bevæget sig langs dybe sprækker (i kappen ?) ca. 200 km nordpå fra produktionsstederne i Kangerdlugssuaq-området.

Lavaerne fra den anden vulkanske episode er kemisk ens i Kangerdlugssuaq og Scoresby Sund. Fødegange for disse lavaer kendes ikke, men da lavapakken er tykkest i de kystnære områder i sydøst og tynder ud mod nordvest (ind i land), formodes det, at hovedudbrudsområdet lå sydøst for den nuværende Atlanterhavskyst. Lavaerne fra den anden episode afspejler en udvikling svarende til den første, med gradvis stigende magmaproduktion til en kulmination med påfølgende uddøen (fig. 6).

Langs den nordlige del af Blosserville kysten findes resterne fra en tredje vulkansk episode. Disse udgøres af en intens 200 km lang og 30 km bred kystparallel sværm af gange (fig. 7 og 8), som har været fødekanaler for en lavaserie, der nu kun er bevaret i et lille nedforkastet område ved Kap Dalton, men som formodentlig aldrig har været særlig udbredt. Disse gange og lavaer har samme kemiske hovedtræk som de tidligere basalter, men forholdene mellem visse grundstoffer (titanium/fosfor og zirkonium/niobium) har ændret sig efter at have været meget konstante i de tidligere lavaer.

Magmaerne fra den tredje episode er herved blevet identiske med magmaerne på Island. Årsagen til dette er ikke klar, men en mulig forklaring er, at magmaerne i den tredje episode er begyndt at genopsmelte nydannet oceanskorpe, som det menes at ske på Island i dag.

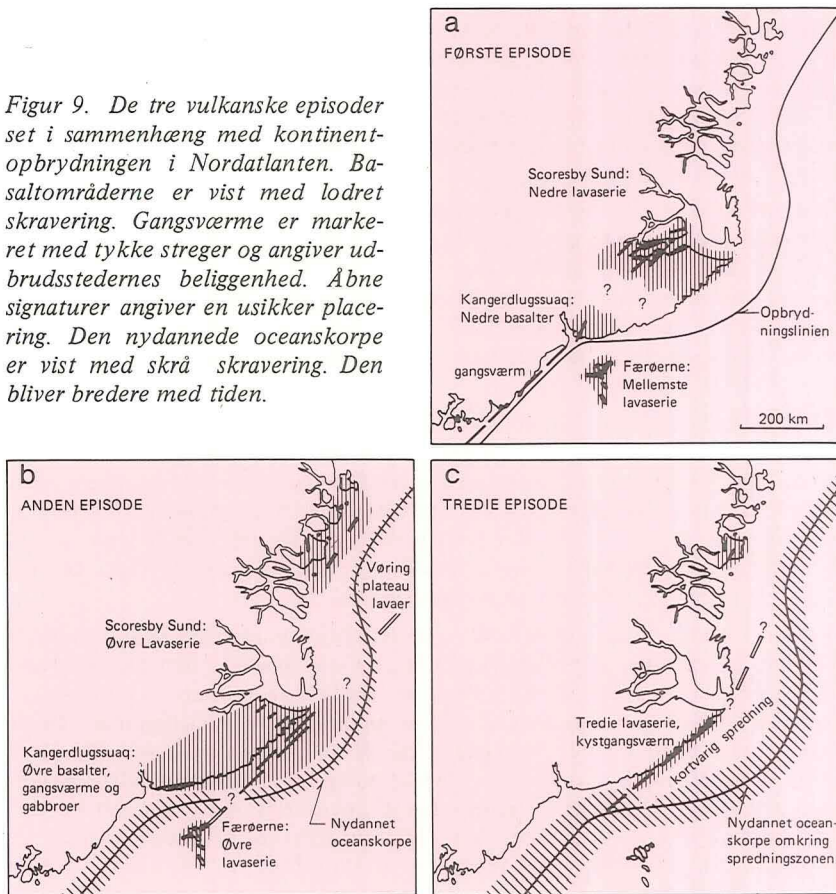
Samtidig med, og kort tid efter, at den tredje vulkanske episode fandt sted, genemsattes området med den kystparallelle gangsværm af kystparallelle forkastninger med nedforkastning mod sydøst. Dette anses for at være halvdelen af et rift-system. Dets midte ligger sydøst for den nuværende kyst, men går lige netop i land i gravsænkningen ved Kap Dalton.

### Kontinentets opsprækningshistorie

De tre vulkanske episoder i Østgrønland kan sættes i forbindelse med den begyndende opsprækning af kontinentet. Hovedtrækkene i Nordatlantens opsprækningshistorie er kendt fra geofysiske undersøgelser af de havdækkede områder og har tidligere været omtalt i Varv (1978-3), men flere detaljer er nu kendt. Den første åbningszone (spredningszone) i området lå meget tæt ved den nuværende grønlandske kyst syd for Kangerdlugssuaq og nord for Kong Oscar Fjord, men i det mellemliggende område slog den en stor bue mod øst (fig. 9).

Det centrale område med basalter i Østgrønland ligger netop i denne region, og de tre vulkanske episoder kan opfattes som gentagne forsøg på - ved gennemskæring af det buede stykke - at rette spredningszonen ud til et mere lineært forløb, se også fig. 2.

Figur 9. De tre vulkanske episoder set i sammenhæng med kontinent-opbrydningen i Nordatlanten. Basaltområderne er vist med lodret skravering. Gangsværme er markeret med tykke streger og angiver udbrudsstedernes beliggenhed. Åbne signaturer angiver en usikker placering. Den nydannede oceanskorpe er vist med skrå skravering. Den bliver bredere med tiden.



I den første vulkanske episode åbnede spredningszonen sig hurtigt langs hele Østgrønlands østkyst som en 'lynlås' sydfra og nordpå. Der har været store spændinger i kontinentet i det buede mellemstykke, og fødegangene for den første lavaserie i Scoresby Sund-området ligger tydeligvis i forlængelse af den sydlige del af spredningszonen. Det samme gælder for nogle fødegange i Kangerdlugssuaq, hvor dog hovedfødeområdet må have ligget på den afbøjede spredningszone. Dette giver en naturlig forklaring på de adskilte vulkansystemer

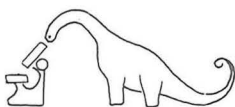
i denne episode. Færøerne ligger symmetrisk med Kangerdlugssuaq omkring spredningszonen, og den 'mellemste lavaserie' på Færøerne har samme titanium—rige karakter som de nedre lavaer i Kangerdlugssuaq, hvorfor de to serier anses for dannet samtidig. Men udviklingen i Scoresby Sund systemet viser, at her mislykkedes gennemskæringsforsøget, og vulkanismen uddøde.

I den anden vulkanske episode skete et nyt gennemskæringsforsøg meget længere østpå, men stadigvæk på kontinentet. Det er ikke klart, om der var skarpt adskilte vulkansystemer i nord og syd, men Færøerne var begyndt at glide østpå og føre sit eget liv med vulkanske produkter (den 'øvre lavaserie'), der kemisk ligner basalter fra midtoceaniske rygge. I Østgrønland slog også dette genembrydningsforsøg fejl.

I den tredje vulkanske episode så gennemskæringen først ud til at skulle lykkes: Den succesfulde sydlige gren af spredningszonen trængte sig nordpå i en riftzone, hvor de tætliggende forkastninger viser, at kontinentet begyndte at give efter. De samtidige lavaer viser tegn på tilstedeværelsen af nydannet oceanskorpe, og det samme gør riftens magnetiske signatur. Men af ukendte årsager stoppede også denne episode, og riften uddøde.

De omtalte tre episoder fandt alle sted inden for et relativt kort tidsrum for 55–58 millioner år siden. Først meget senere, for ca. 45 millioner år siden, begyndte den sydlige gren af spredningszonen (Reykjanes Ryggen) langsomt, men sikkert at æde sig nordover, ind i kontinentet. For ca. 20 millioner år siden var gennemskæringen komplet, og et kontinentfragment indeholdende store dele af den anden østgrønlandske lavaserie løsnedes og begyndte at glide østpå. Det befinder sig i dag under Jan Mayen Ryggen (fig. 2).

Det her skitserede begivenhedsforløb understreger den nære årsagssammenhæng mellem igangsætning af pladebevægelserne og vulkanismen. Den senere oceanbundsspredning i netop dette område af Nordatlanten fremviser et lignende kompliceret billede med gentagne skift af spredningszonens beliggenhed. Dette karaktertræk genfindes den dag i dag på Island, som er den moderne ækvivalent til de østgrønlandske basalter. Det skyldes antagelig et samspil mellem pladerens spredningshastighed og beliggenheden af 'hotspottet', som langsomt vandrer østpå. Hvis der ikke sker flere skift i spredningszonens beliggenhed østpå, vil 'hotspottet' sammen med vulkanøen Island glide bort fra den midtatlantiske ryg, som vil synke i havet.



# GULD

## PLATIN OG PALLADIUM I ØSTGRØNLAND



af Rune B. Larsen

Grønland jubler! Det var den overskrift, man kunne læse i B.T. 13. november 1989, efter at lektor C.K. Brooks (Københavns Universitet) havde offentliggjort en artikel, der omtalte et nyt guldfund i Skærgårdsintrusionen på Grønlands østkyst (fig. 1). Men har grønlænderne nogen grund til at juble? – og skal den definitive løsning på Danmarks betalingsbalanceproblemer findes i Grønlands undergrund? Med andre ord: Hvor meget guld er der, hvordan sidder det, og vil det kunne betale sig at bryde det? I de følgende afsnit vil en beskrivelse af ædelmetallernes forekomstmåde og dannelse forhåbentlig kunne give svar på nogle af disse spørgsmål.

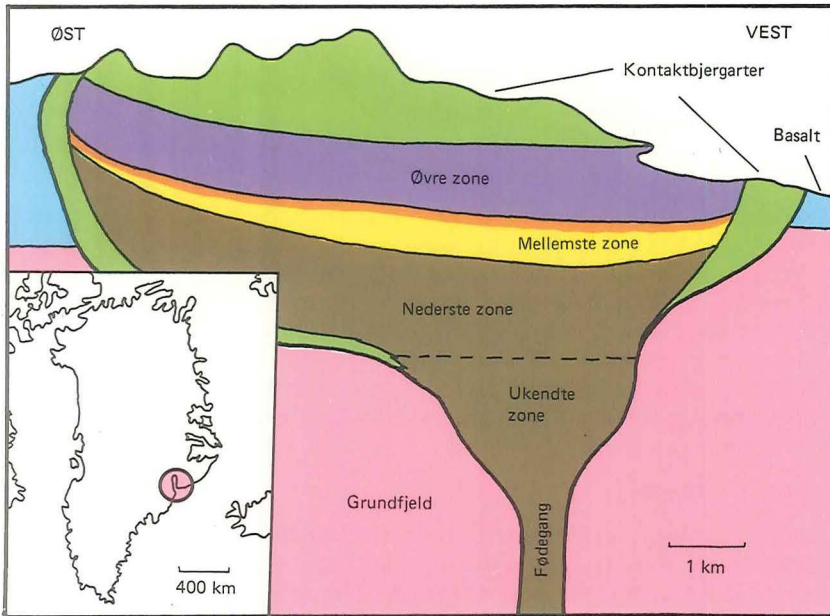
### Geologisk opbygning

I artiklen om Basalter i Østgrønland omtalte Lotte Melchior Larsen, at basalterne blev dannet i de tidlige stadier af Nordatlantens dannelse. Skærgårdsintrusionen udvikledes ligeledes i forbindelse med Nordatlantens tidlige opsplittning, idet den intruderede i den øvre skorpe for ca. 55 millioner år siden, kort tid efter at basalterne var strømmet ud over de kontinentale bjergarter. Magmakammeret dannedes i zonen mellem de kontinentale prækambriske bjergarter og de overliggende basalter.

Man regner med, at Kangerdlugssuaq-området, hvor Skærgårdsintrusionen er lokaliseret, befinder sig umiddelbart over centrum af den 'plume', der er omtalt i Melchior Larsen's artikel, sådan at tilførslen af magma fra den øvre del af kappen, har været særlig stor i dette område. Dannelsen af såvel basalterne som Skærgårdsintrusionen er således forårsaget af 'plume'-aktiviteten, men det magma, der dannede Skærgårdsintrusionen, nåede aldrig overfladen. Det blev 'fanget' 7 km under jordens overflade, hvor det i løbet af de næste 800 tusinde år afkøledes langsomt og dannede en karakteristisk lagdelt bjergart, en såkaldt lagdelt gabbro.

Siden slutningen af 30'erne har Skærgårdsintrusionen været målet for talrige geologiske ekspeditioner. Ikke fordi man på det tidspunkt kendte noget til ædelmetal-mineraliseringerne, men fordi Skærgårdsintrusionen på et tidligt tids-

punkt blev typeeksemplet på, hvorledes sammensætningen af krystalfase og smeltfase ændrer sig under dannelsen af en lagdelt gabbro. Den karakteristiske lagdeling, som kendetegner intrusionen, kan iagttages direkte på blottede flader, hvor mineralerne er udskilt i mørke bånd bestående af olivin, pyroxen, magnetit og ilmenit, og i lysere bånd, der overvejende består af plagioklas.



Figur 1. Skærgårdsintrusionen set i et tværsnit fra øst mod vest. Intrusionen er delt op i 3 hovedenheder, hvoraf den centrale del betegnes som den lagdelte serie, der yderligere er delt i nedre zone, mellemste zone og øvre zone. Mellem den lagdelte serie og grundfjeldet (rosa), hhv. basalterne (blå), findes kontaktbjergarterne (grønne), der ligeledes er underinddelt i flere mindre enheder (som ikke er vist på figuren). Den sidste enhed kaldes den ukendte zone eller den gemte zone, idet man på grundlag af geokemiske beregninger kan påvise dens eksistens, men man har aldrig iagttaget den i felten, da den ligger dybt under overfladen. Den lagdelte zone er udkrystalliseret nedefra og op, mens kontaktbjergarterne krystalliserede fra kontakten og indad. Ædelmetalmineraliseringerne (orange) er knyttet til toppen af den mellemste zone, hvor de sidder i to horisonter (på figuren vist som et enkelt bånd).

På fig. 2 kan man i den 1200 meter høje fjeldside på den anden side af gletscheren skimte et lyst bånd, som danner en anden form for lagdeling og i betydelig større skala. Det lyse bånd er det nederste af tre lag, der samlet betegnes



'Tripple Group' (TG). De tre lyse lag i TG (L1, L2 og L3) er ca. 10 meter tykke og ligger inden for et bælte på 120 meter, således at L1 og L2 findes i de nederste 40 meter, mens L3 er placeret helt øverst. Båndenes lyse farve skyldes et større indhold af plagioklas og et mindre indhold af de mørke mineraler og magnetit og ilmenit, end der er i de omgivende bjergarter.



*Figur 2. Imellem teltene kan man se, hvorledes gabbrolagdelingen veksler mellem lysere og mørkere bånd. Årsagen til lagdelingen har været heftigt debatteret, siden den blev opdaget for ca. 50 år siden, men i følge den klassiske teori er lagdelingen fremkommet ved udkrystallisation under særlige rolige forhold i magmakammeret, så mineraler med større vægtfylde er sunket til bunds i kammeret først efterfulgt af de lettere. Ved tilførsel af nyt magma kan processen gentages. Pilen peger på laget L 1 (fra 'Tripple Group'), og ædelmetalmineraliseringerne er fundet umiddelbart herunder.*

TG-lagene har altid tiltrukket sig geologernes opmærksomhed på grund af det særprægede udseende, der gør, at man kan se dem fra flere kilometers afstand, men også fordi TG's dannelse endnu er uafklaret. Da det canadiske explorations selskab *Platinova* i 1986 opdagede, at sedimenter i elvene, der drænerer Skærgårdsintrusionen, indeholdt anormale koncentrationer af guld, rettedes opmærksomheden mod TG ud fra den antagelse, at mineraliseringerne sad i dette niveau. Og ganske rigtigt. Detaljerede indsamlinger af prøver op gennem TG viste, at det første lyse lag (L1) og bjergarterne umiddelbart derunder indeholdt små koncentrationer af guld, platin og palladium, og hvad mere var, at fore-

komsten kunne følges over hele intrusionen i det samme stratigrafiske niveau.

Det viste sig yderligere, at koncentrationen af ædelmetaller og tykkelsen af den mineraliserede horisont steg fra kanten af intrusionen ind mod de centrale dele. Der var derfor håb om, at de højeste ædelmetal-koncentrationer skulle findes umiddelbart over intrusionens fødegang, hvorigennem magmaet i sin tid blev tilført (fig. 1), men i denne del af intrusionen ligger TG imidlertid mere end 200 meter under overfladen. *Platinova* iværksatte derfor i sommeren 1989 et stortilet boreprogram, som skal videreføres i sommeren 1990.

### Hvordan optræder ædelmetallerne ?

De overflade-baserede undersøgelser viste, at ædelmetal-mineraliseringerne fandtes i to niveauer adskilt fra hinanden af op til 40 meter gabbro, der kun var svagt anormale med hensyn til guld, platin og palladium. Det øverste niveau ligger umiddelbart under eller inde i L1, og det viste sig, at guld var det dominerende ædelmetal i dette niveau, omend der også blev målt mindre koncentrationer af palladium og platin. I det nederste niveau er det modsatte tilfældet, idet palladium og platin her er de vigtigste metaller, mens guld kun findes i mindre koncentrationer.

Figurerne 3A, B og C viser, hvorledes guldet optræder i polerede prøver indsamlet i det øverste niveau. Guldet ligger i 0,002 til 0,025 mm store korn, som danner ædelmetallegeringer sammen med kobber og sølv og undertiden med lidt palladium. Legeringerne sidder indesluttet i randen af de primære silikatmineraller, som regel plagioklas, men til tider også i randen af pyroxen (augit).

På fig. 3B kan man yderligere iagttage en sulfiddråbe. Sulfiddråberne er mikroskopiske indeslutninger af en størknet kobbersulfid smelte, der afblandede fra magmaet (silikatsmelten), da smelten på et tidspunkt blev overmættet med svovl. Da sulfidsmelten udskiltes fra silikatsmelten, udludede den ved samme lejlighed kobber, idet dette element er såkaldt *chalcofilt*, hvilket vil sige, det foretrækker at være i opløsning sammen med sulfiderne. Under størkningen af sul-

*Figur 3. Øverst til venstre i billede A ses gule korn af guld, der danner legering med en smule kobber og sølv. Øverst til højre i billede B er plamagen med de blå og lyserøde farver en sulfiddråbe. De lyserøde mineraler er bornit, de lyseblå er digenit, mens de mørkere blå mineraler er covellit. Lige under sulfid-dråben sidder der nogle små gule korn af guld i legering med en smule kobber. Nederst til venstre i billede C ses guld med lidt kobber i kontakten mellem plagioklas (mørkegrå) og pyroxen (lysegrå). Nederst til højre (billede D) er den hvide plamage en legering mellem palladium, guld og kobber. Rundt om legeringen sidder der en tynd rand af sulfider, der består af de samme komponenter som sulfiddråben nederst til venstre. De vigtigste mineraler er idait (lys gul), digenit (lys blå) og covellit (mørkeblå). Billede D er fra en prøve, der er samlet fra den nederste horisont, hvor platin og palladium dominerer, mens de øvrige billeder er af prøver, der stammer fra den øverste horisont, hvor guld dominerer i legeringerne. Skalaen svarer til 0.05 mm.*



fidsmelten udkrystalliserede digenit ( $\text{Cu}_9\text{S}_5$ ), bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) og chalcopyrit ( $\text{CuFeS}_2$ ) i sulfidråben, der er vist på fig. 3B.

Det nederste niveau er ligeledes mineraliseret med ædelmetallegeringer. Disse består overvejende af palladium og platin, men indeholder yderligere mindre mængder af guld og kobber. I sjældne tilfælde er der set legeringer mellem palladium, bly og arsen. Legeringerne i det nedre niveau sidder alle uden undtagelse indesluttet i augit.

Figur 3D viser en palladium–guld–kobber legering i en sjælden, men meget spændende situation. Legeringen er omgivet af augit, men sidder desuden i direkte kontakt med sulfider af samme type som dem i sulfidråben på samme figur. Billedet viser således, hvordan der muligvis er en tæt sammenhæng mellem udfældningen af sulfidråberne og dannelsen af ædelmetal-mineraliseringerne i det nederste niveau.



*Figur 4. Sådan gjorde man for 100 år siden og sådan gør man stadigvæk i dag, når man skal finde nye ædelmetalforekomster. Pigen sidder og renser guld ud af sedimenter afsat i en af de elve, der afvander Skærgårdsintrusionen.*

#### **Hvorledes er forekomsten dannet ?**

Platin–palladium-mineraliseringer i lagdelte gabbro-intrusioner som f. eks. i Bushveld (Sydafrika) og Stillwater (USA) er en velkendt forekomstmåde, der er underkastet talrige detaljerede undersøgelser gennem tiderne. Det er også ret almindeligt at finde mindre koncentrationer af guld i disse forekomster, f. eks. 0.06 til 0.3 gram guld/ton i Bushveld (og 6.8 gram platin og palladium/ton). I

Skærgårdsintrusionen er det imidlertid guld, der er mest vigtigt, idet dette metal – i følge det hidtil oplyste – forekommer i koncentrationer på op til 5.3 gram/ton, mens platin og palladium udgør henholdsvis 1.6 og 3.4 gram/ton.

**KOBBERSULFIDER** (Mineraler hvis vigtigste bestanddele er kobber og svovl)

Navn	Dansk navn	Farve	Formel
Chalcopyrit	Kobberkis	gul	$\text{CuFeS}_2$
Bornit	Breget kobbermalm	pink	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$
Covellit	Kobberindigo	blå	$\text{CuS}$
Digenit		lys blå	$\text{Cu}_9\text{S}_5$
Idait		orange	$\text{Cu}_{11}\text{Fe}_2\text{S}_{13}$

(Den i skemaet nævnte farve, er den farve, der ses i polerede prøver, som vist i figur 3).

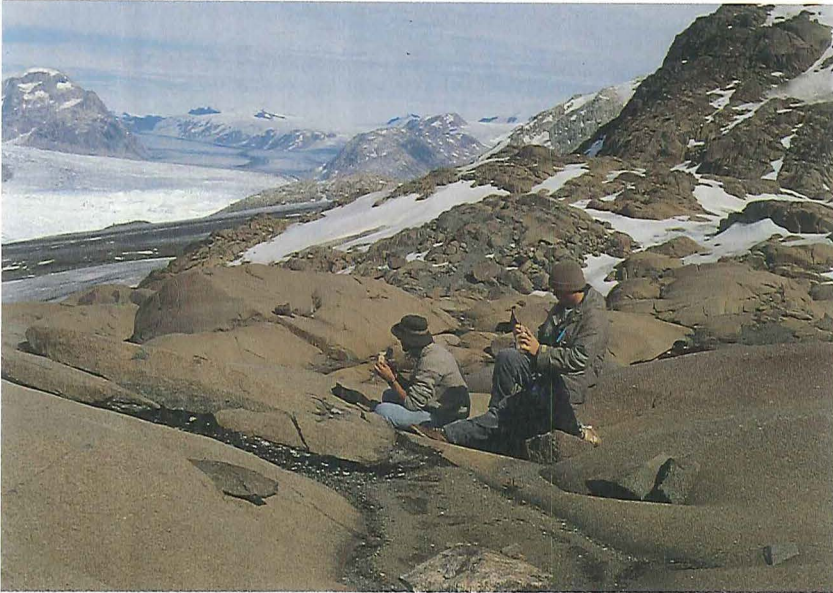
Ædelmetalloforekomsten i Skærgårdsintrusionen er således af en hidtil ukendt type, ikke mindst fordi guld er det vigtigste metal, men ligeledes fordi ædelmetallerne findes i to adskilte horisonter, og yderligere fordi mineraliseringerne findes som ædelmetallegeringer. I Bushweld og Stillwater findes platin og palladium som sulfider, tellurider og arsenider, samt som legeringer, hvor jern udgør en væsentlig bestanddel.

Idet mineraliseringerne i Skærgårdsintrusionen således afviger væsentligt fra allerede kendte forekomster, kan vi i øjeblikket kun gisne om deres dannelse. Der skal foretages mange dybtgående undersøgelser, ikke bare af mineraliseringerne som sådan, men af hele Skærgårdsintrusionens kemisk-fysiske udviklingsforløb, før vi kan gøre os håb om at forklare forekomstens dannelse. Men en situation som den, der er vist i fig. 3D, kan give et fingerpeg om relationerne mellem ædelmetallerne og sulfidråberne. Billedet antyder således, at ædelmetallerne på et tidspunkt var opløst i sulfidråben. Ved faldende temperaturer er ædelmetallernes opløselighed i sulfidsmelten faldet kraftigt, hvorefter sulfider og ædelmetaller afblander fra hinanden og udvikler separate faser. Dette er naturligvis kun en lille del af historien, idet vi stadig har tilbage at danne de to adskilte niveauer domineret af henholdsvis guld og af platin plus palladium, og i øvrigt skal vi finde nogle mekanismer, der kan opkoncentrere ædelmetallerne flere tusinde gange fra silikatsmelten, for derefter at udfælde dem i en relativ tynd horisont.

### Konklusion

Der er ingen tvivl om, at vi i Skærgårdsintrusionen står over for en enestående forekomsttype, som indtil videre ikke er fundet andre steder i verden. Det bli-

ver interessant at se, hvilke dannelsesmodeller der vil dukke op i løbet af de næste år, når forekomsten er tilstrækkeligt grundigt undersøgt.



*Figur 5. Udsigt fra den nordligste del af Skærgårdsintrusionen ind over Watkins Fjord til indlandsisen. Bjergarterne i forgrunden tilhører den nederste zone i den lagdelte serie.*

For tiden må forekomsten betragtes som 'subøkonomisk', det vil sige, den for øjeblikket ikke er brydeværdig. Koncentrationerne samt mægtighederne af de mineraliserede horisonter skal imidlertid kun stige ganske lidt ind imod intrusionens centrale dele, før minedrift vil blive økonomisk rentabel. Den årlige produktion vil da kunne blive i størrelsesordenen 12 tons guld, platin og palladium, hvilket vil placere Skærgårdsintrusionen blandt verdens 10 største ædelmetal-miner.

Har Grønland så nogen grund til at juble ? Ikke lige i øjeblikket, men måske i løbet af de næste par år, afhængig af resultaterne fra denne sommers borer. Overskuddet fra en eventuel minedrift vil ganske givet skæppe godt i de grønlandske og danske valutakasser, omend løsningen af landets gældsproblemer ville kræve over 100 miner i samme størrelsesorden, og de skulle være i drift i mindst 20 år! Men uanset resultatet ved vi dog, at vi her står over for den mest spændende malmgeologiske opdagelse, der er gjort i mange år.

# DANSK POLARCENTER

STYRKELSE AF DANSK FORSKNING I POLAROMRÅDERNE

af Karsten Secher

*Dansk Polarcenter's* formål er at støtte og koordinere Danmarks arktiske og antarktiske forskning og at informere om begivenheder i den internationale polarforskningsverden. Dansk Polarcenter repræsenterer danske interesser i de internationale råd og organisationer, som koordinerer og regulerer den arktiske og antarktiske forskning i nært samarbejde med interesserede institutioner og myndigheder og *Grønlands Hjemmestyre*.

## Kontinuitet i den danske polarforskning

Danmark har gamle traditioner for arktisk forskning. *Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland* (KVUG) begyndte sin virksomhed i 1878 og er formentlig verdens ældste institution af sin art. Det har givet Danmark en stærk position i den polare forskning. Dansk Polarcenter skal være med til at sikre, at denne position bevares.

Et af midlerne hertil er at ansætte et antal højt kvalificerede forskere. Forskerne skal placeres i de rette forskningsmiljøer og institutioner og således være medvirkende til at opbygge og udbygge forskningen. I alt 14 interesseområder er udpeget. I første omgang er der økonomiske midler til at ansætte 2 forskere inden for naturvidenskabelige og humanistiske områder. Forskningssemnernes kvalitet vil være bestemmende for de første to arbejdsområder. Som noget nyt vil forskerne i høj grad blive inddraget i formidlingen af de opnåede resultater til såvel forskningsverdenen som til offentligheden, interessegrupper og erhvervsliv. Dette kan ske ved foredrag og artikler – men også ved kursus- og uddannelsesvirksomhed samt i form af deltagelse i presse- og udstillingsaktivitet.

Dansk Polarcenter blev oprettet som en institution under Undervisningsministeriet 1. januar 1989. Dansk Polarcenter, der er sekretariat for KVUG, som er rådgivende i spørgsmål om forskning i Grønland, har mulighed for at støtte enkelte projekter økonomisk, idet der årligt uddeles ca. 2.5 millioner kroner efter ansøgning.

## Geologien og Dansk Polarcenter

Den geologiske udforskning af Grønland har altid haft en central placering i Danmarks arktiske forskning. Geologien er siden 1946 sikret en selvstændig institution i form af *Grønlands Geologiske Undersøgelse* (GGU). Ved fremtidige projekter, hvori geologiske undersøgelser, f. eks. fra GGU, indgår sammen med andre forskningsområder, kan Dansk Polarcenter medvirke til gennemførelsen af sådanne tværvideenskabelige aktiviteter. KVUG, hvor også GGU er repræsenteret, har eksempelvis støttet større geologiske udforskningsaktiviteter i Østgrønland samt miljø-geokemiske projekter i Vestgrønland.



*Nordlys set fra det geofysiske laboratorium i Narsarsuaq.*

### **Andre opgaver**

Dansk Polarcenter har et væld af andre opgaver. F. eks. varetages godkendelsen af videnskabelige og sportslige ekspeditioner i Grønland. Dansk Polarcenter fastsætter krav til sikkerhedsudstyr og forsikringssummer og formidler kontakten til de grønlandske institutioner, som også skal godkende projekterne. Ekspeditioner til Nationalparken i Nordøstgrønland skal f. eks. godkendes af *Nationalparkrådet*. Dansk Polarcenter har også mulighed for at rådgive om løsningen af de praktiske, logistiske problemer.

Det kan være tidskrævende at administrere projekter, som involverer mange personer, flere institutioner eller måske flere nationer. Dansk Polarcenter til-



byder som en service at stå for den administrative del af arbejdet, føre regnskab, arrangere møder o.s.v. Dette gælder også organiseringen af kurser og kongresser.

På opfordring fra forskere i Danmark undersøger Dansk Polarcenter mulighederne for at oprette feltstationer i Grønland. Der er især vist interesse for en feltstation i Nationalparken i Nordøstgrønland. Stationerne vil blive stillet til rådighed for danske og udenlandske forskere.

### Information og bibliotek

Dansk Polarcenter vil indsamle oplysninger om ekspeditioner, forskningsprojekter, forskningsinstitutioner, møder og kongresser, som har interesse for den polare forskerverden. Centret kan hermed indgå i internationale aftaler om udveksling af sådanne informationer og dermed blive i stand til også at forsyne den danske offentlighed med omfattende informationer om den polarforskning, som foregår i resten af verden.

Dansk Polarcenter udgiver for KVUG den videnskabelige serie *'Meddelelser om Grønland'*, som i de sidste 110 år har publiceret videnskabelige resultater af forskningen i Grønland. Desuden udgives et populærvidenskabeligt tidsskrift på grønlandsk og dansk, *'tussat, Forskning i Grønland'*, som fortæller om aktuelle projekter i Grønland, og et *'Newsletter'*, som bl. a. i skematisk form beretter om de projekter, der har anmeldt ekspeditioner eller undersøgelser i Grønland. Samtidig udgives *'Tidsskrift for Grønlands Retsvæsen'*, bl. a. med uddrag af grønlandske retsafgørelser.

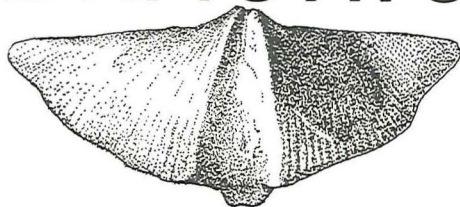
Dansk Polarcenter vil som noget nyt opbygge Danmarks første centrale forskningsbibliotek med polarforskning som emne, også omfattende en central database. Biblioteksopbygningen sker ved et samarbejde med den selvejende institution *Arktisk Institut* og Københavns Universitets *Institut for Eskimologi*. En sådan bibliotekssamling vil kunne give svar på de fleste spørgsmål om den arktiske og antarktiske verden. Der skal desuden tilbydes emnesøgninger i danske og udenlandske databaser og hjælp til at skaffe den nødvendige litteratur, hvis den ikke allerede findes. Biblioteket vil lægge stor vægt på at indsamle *grå* litteratur, d. v. s. ikke offentliggjorte rapporter og lignende fra ekspeditioner og projekter.

Godt et år efter Dansk Polarcenters oprettelse er der netop 6. marts 1990 offentliggjort en betænkning om centrets fremtidige arbejdsgrundlag. Betænkningen, der er illustreret, gennemgår i detaljer de nævnte arbejdsområder.

Dansk Polarcenter har indtil videre til huse i Hausergade 3 i Københavns city. I foråret 1992 forventes centret at flytte til Grønlands Handels tidligere domicil i Strandgade, hvor de lokalemæssige forhold vil muliggøre den endelige etablering af bibliotek, mødelokaler og studierum.

*Dansk Polarcenter* kan kontaktes i Hausergade 3, 1128 København K, telefon: 33 15 86 66, hvor også oplysninger om de nævnte tidsskrifter kan fås. Den netop udgivne betænkning kan erhverves for 150 kr. incl. moms.

# BRACHIOPODER



- en glørværdig  
fortid

af Ulla Asgaard

Brachiopodskaller hører ikke til dem, man finder på stranden, men som fossiler er de derimod ganske almindelige i mange danske aflejringer.

Brachiopoda er græsk for 'armfodder', hvilket viser, at forskerne i det 18. århundrede var stærkt i tvivl om, hvad der var for og bag på disse mærkelige dyr. Arme eller fodder henviser til det karaktersitiske tentakelapparat (lophophor) til optagelse af fødepartikler. En lophophor findes også hos brachiopodernes nærmeste slægtninge, bryozoerne, de phoronide orme og hemichordaterne. En overgang i det 18. og 19. århundrede blev brachiopoderne kaldt Molluscoidea (de bløddyrlignende), fordi de havde to skaller ligesom muslingerne, men i modsætning til muslingerne, der har en højre og en venstre skal med et symmetriplan mellem skallerne, har brachiopoderne en ryg (dorsal)- og en bug (ventral)-skal og et symmetriplan gennem skallerne. Det er nu helt afklaret, at de to dyregrupper ikke er nært beslægtede.

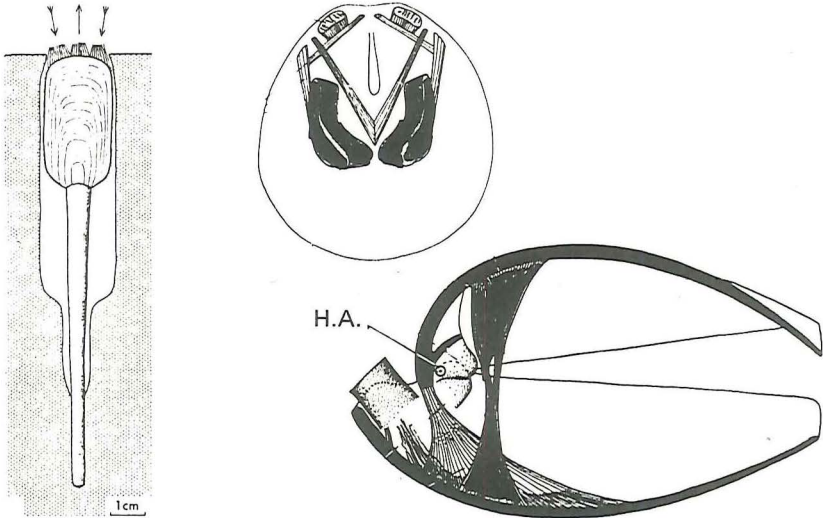
Kort kan det siges om brachiopoderne: *at* de er marine, *at* de formerer sig kønnet og har en fritsvømmende larve, *at* de har en lophophor, der holdes i position af væsketrykket i kropshule-kanaler og kan understøttes af et armskelet – et brachidium ('sløjfe'), *at* de hyppigt er hæftet til bunden via stilken og ernærer sig ved at filtrere fødepartikler (mest mikroskopiske alger) ud af havvandet, d.v.s. de er suspensionsædere.

Brachiopoderne er fordelt på to grupper: de inarticulate (hængselløse) og de articulate (hængslede). De hængselløse 'holdes sammen' af kappen og muskulatur, mens de hængslede har to tænder bagtil i ventralskallen og to tandgruber bagtil i dorsalskallen. Hængslet er så fast, at skallerne normalt kun kan åbnes nogle få grader fortil, og forsøg på at skille to tomme skaller fra hinanden fører næsten altid til brud på tænder eller tandgruber. Skallerne hos de hængselløse består oftest af kitin og/eller calciumfosfat, sjældnere af calciumcarbonat (calcit). Hos alle hængslede brachiopoder består skallerne af calcit.

Brachiopod-kroppen er lille og sammenkrummet, den optager kun den bageste fjerdedel af hulrummet mellem skallerne. Resten af pladsen – kappehulen – er optaget af lophophoren.

Hos muslinger findes to lukkemuskler – en forreste og en bageste – der sørger for lukningen af skallerne. Åbningen af skallerne er derimod en passiv proces.

Når musklerne slappes, gaber skallerne automatisk, idet det før sammenklemte eller strakte elastiklignende ligament, der er anbragt dorsalt, finder sin naturlige, ubelastede form. Hos brachiopoderne er både åbning og lukning af skallerne en aktiv proces, der involverer sammentrækning af muskler.



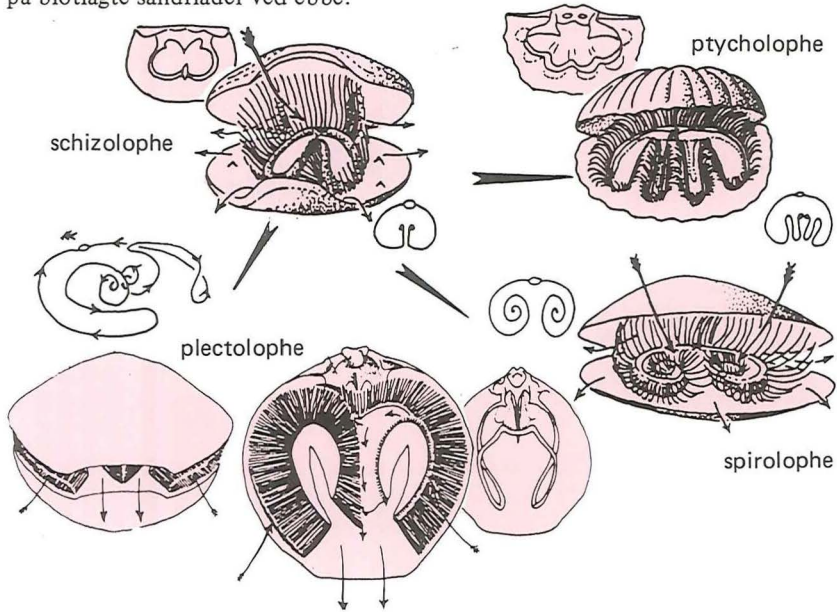
Figur 1. Til venstre ses *Lingula* i livsstilling. Øverst til højre ses musklerne hos den hængsellose Crania. Dorsalskallen er fjernet. Nederst til højre er der et længdesnit af *Terebratulida*. H.A. er hængselaksen, sort er lukkemuskler og stribet er åbnemuskler, skråmuskler og stilkfasthæftningsmuskler. Hos de hængsellose brachiopoder bruges skråmusklerne til at rotere skallerne i forhold til hinanden, så uønsket sediment slynges bort. Hos de hængslede former har stilmusklerne samme funktion, idet dyret kan rotere i små ryk om stilken.

Endelig må stilken ikke glemmes. Hos een hængseløs gruppe – *Lingulida* – er der hropshule med vædske og en kraftig muskulatur i stilken, der stikker ud mellem skallerne. Hos de andre hængsellose er stilken ubevægelig og bundet til ventralskallen, som den forlader gennem en fure, et hul eller en slids bagtil. Alle de hængslede brachiopoder har en stilk, der forlader ventralskallen gennem et stilkhul i umbo ('næbbet').

Nu, når vi ved, hvordan denne dyregruppe ser ud og fungerer, kan vi gå over til at se på dens opståen og udvikling igennem tiden og dens tilpasning til mange, ofte barske marine miljøer.

Ved Kambriums begyndelse skete en eksplosiv udvikling af skalbærende, marine bundlevende dyr (se VARV 1980/2). De første brachiopoder var meget små og tyndskallede og forbrugte ikke megen ilt. I Nedre Kambrium var de kitin og

fosfatskallede hængsellose former næsten enerådende og domineret af gruppen Lingulida. Slægten *Lingula* eksisterer endnu, og med sine 600 millioner år på bagen viser den en forbløffende tolerance overfor svingninger i saltholdighed og iltindhold i havet – selv forurenede havnebassiner kan tilsyneladende ikke slå den ud. Lingulida er de eneste brachiopoder, der kan flytte sig. De lever nedgravet, og den muskuløse stilk tjener som anker, og den kan trække dyret ned i sedimentet, når fare nærmer sig. Bliver *Lingula* rodet op fra sedimentet, bruges den regnorm-lignende stilk imidlertid ikke ved nedgravningen. Dyret graver sig derimod ned med forenden først, idet stilken bruges som en slags 'kænguru-hale', og hurtig klappen med skallerne gør sedimentet løst og vandfyldt, hvorpå både lukke- og skråmuskler roterer skallerne i forhold til hinanden, så dyret skovler sig vej ned i bunden. For at indtage sin normale stilling med forenden ved sedimentoverfladen og stilken ned må *Lingula* tilbagelægge en U-formet bane. Denne sejglivede brachiopod er den eneste, der har gastronomisk interesse, den lækre stilk spises på øerne i Stillehavet, hvor dyret let kan graves op på blotlagte sandflader ved ebbe.



Figur 2. Lophophorens udformning og tilhørende armskeletter. Alle unge brachiopoder har et stadium med schizolophe. Herfra går udviklingen i pilenes retning. Alle nulevende hængsellose former samt *Rhynchonellida* har spirolophe. Man regner med, at *Orthida* og *Pentamerida* også var forsynet med en sådan. De fleste strophomenida havde nok en ptycholophe. Plectolophen findes kun hos *Terebratulida*. Dyrene er vist med ventralskallen opad. De små pile angiver vandets strømretning gennem filteret.



Figur 3. Palæozoiske brachiopoder. Øverst fra venstre: *Spiriferida* (Karbon), *Pentamerida* - levede som 'tumling' (Silur), *Atrypida* - løs på mudderbund (Silur), *Strophomenida* - afbildet med ventralskallen op, denne har været forsynet med pigge til forankring på blød bund (Karbon). Nederst fra venstre: *Spiriferida* (Silur), *Lingula* - den originale kitin-fosfatskal er delvis bevaret (Ordovicium), *Orthida* - halvkulgeformede, levede fritliggende på mudderbund (Silur), *Strophomenida* - en af 'snesko-formerne' fra blød bund. Det nederste eksemplar i naturlig stilling (Silur). Alle de viste silure former er fra Gotland. Foto: Ole B. Berthelsen.

En anden hængseløs gruppe, der er kendt fra Nedre Kambrium til nu, er *Acrotretida*, hvis medlemmer for det meste har kitin- og fosfatskaller, men nogle få har calcitskaller. Modsat *Lingulida* har denne gruppe umbo siddende centralt. De tidligste former var ofte kun omkring 1–3 mm i diameter. *Lingulida* og *Acrotretida* kan findes i de sorte skifre på Bornholm, men de overses let.

I aflejringerne fra Kridt findes *Lingula* også, men samles sjældent, fordi folk ved første øjekast tror, de har fundet et enkelt kedeligt fiskeskæl. Mere iøjnefaldende er den calcitskallede acrotretid *Crania* i Kridt- og Danienaflejringerne i Danmark og i Skåne. Det er en stilkløs form, der cementerer sig fast til underlaget med ventralskallen.

De første hængslede former fra Nedre Kambrium hørte til gruppen *Orthida*. Hertil hører slægten *Orusia* fra Øvre Kambrium (se VARV 1989/3). Fra denne

stamgruppe gik udviklingen hurtigt i forskellige retninger. Mange nye nicher med lavt, næringsrigt og iltrigt vand med en overmætning af karbonat-ioner blev tilgængeligt for blandt andet brachiopoderne.

Pentamerida kom til i Mellem Kambrium. Det var store stilkløse 'gumpetunge tumlinger', der kunne holde balancen på stille, blød bund såvel som hård bund med uroligt vand. Strophomenida, der også var stilkløse, kendes fra Nedre Ordovicium. De var enten halvkugleformede, eller så ud som om nogen havde trykket den flade skal ned i den buede, så der var levnet meget lidt plads til krop og lophophor.

De fladtrykte former var tilpasset som 'snesko' til liv på blød bund. De var meget almindelige i Silur og Devon. De halvkugleformede havde deres storhedstid i Karbon og Perm. Den buede ventralskal var tyk og tung – igen en 'tumling' på blød bund. Ventralskallen kunne desuden være forsynet med lange, forankrede pigge, der også kunne holde dyrene stabile på hård bund. En enkelt gruppe havde kræmmerhusformede ventralskaller med dorsalskallen som et lille, forsenket 'låg'. De så ud som koraller og dannede faktisk små rev i Perm.

Spiriferida, der havde spiralkurve som armskeletter, kom i Nedre Silur. De fleste var forsynet med stilk og kunne klare sig på både blød og hård bund.

Fra Pentamerida udvikledes Rhynchonellida i Mellem Ordovicium. Fra disse opstod hurtigt Atrypida, der havde et armskelet i form af to spiralkurve. De to grupper ligner hinanden meget i ydre form, de har en papagøjenæbsformet ventral umbo og en stærk hvælvet dorsalskal til at rumme en spirolophe med mange vindinger. Nogle få former havde mistet stilken og var tilpasset til at flyde på maven på blød bund.

Man regner med, at Terebratulida udvikledes fra Atrypida i Nedre Devon. De har alle et armskelet. De første former har haft en spirolophe, mens de fleste nulevende har en indviklet plectolophe. Alle nulevende terebratler er afhængige af en stilk. Nogle uddøde former - blandt andet fra skrivekridtet - blev løstliggende halvkugleformede eller tumlinge.

Skal vi samle store Orthida, Pentamerida, Strophomenida, Spiriferida og Atrypida, må vi tage til udlandet. Skåne, Gotland og Storbritanien har en meget artsrig brachiopodfauna fra Silur. Devone og Karbone faunaer skal hentes i de Rhinske Skiferbjerge, Ardennerne og Storbritanien. Perm-brachiopoder skal vi rejse endnu længere efter.

Orthida og Pentamerida blev decimeret som følge af en global krise i Devon, og de uddøde ved den næste store krise på overgangen fra Perm til Trias. Ved denne grænse forsvandt Strophomenida også, mens nogle få Atrypida og Spiriferida overlevede ind i Øvre Trias og Nedre Kridt. Tilbage var nu kun de nøjsomme hængsellose og to grupper hængslede, nemlig Rhynchonellida og Terebratulida. De hængslede fik en opblomstring i Jura og Kridt, hvor specialiserede for-

**OBS: Artiklen fortsætter på bagsiden !**

# NY GEOLOGI

*Henning Sørensen: Råstoffer. Forekomst, forarbejdning, forbrug, forsyning i fremtiden. Geografforbundet. Brenderup. 1989. 135 sider, pris 148 kr.*

Hvis du vil vide mere om guld eller andre vigtige - men knap så eksotiske råstoffer - er bogen god at få forstand af. Den er skrevet for gymnasier og HF, men kan læses af alle, der er interesseret i geologi og de geologisk dannede råstoffer. J.K-M

*G. Larsen, J. Frederiksen, A. Villumsen, J. Fredericia, N. Foged, B. Knudsen og J. Baumann: Vejledning i Ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse. Dansk Geoteknisk Forening, Bulletin 1, 1988. 145 sider, pris 150 kr plus forsendelse (klassesæt til undervisningsbrug 80 kr/stk.).*

Selv om titlen lyder lidt kedelig, er det en fortrinlig og grundig bog, der i letlæseligt sprog fortæller, hvorledes man karakteriserer jordarter, kalk-, evaporit- og grundfjeldsbjergarter med hovedvægten lagt på almindeligt forekommende danske. Bogen indeholder også en lang række jordartsdefinitioner med tilhørende beskrivelse af, hvorledes de er dannet. Den kan anbefales både til den professionelle og den interesserede amatør. St.Sj.

*Yngve Rollof: Stenlexikon med kulturhistoria (eget forlag), 1989. 477 sider, pris 395 Skr plus forsendelse. Bogen kan bestilles hos: Yngve Rollof, Kremlestigen 7, S-296 00 Åhus, Sverige.*

Dette leksikon omfatter 6.500 opslagsord med geologiske og arkæologiske emner samt klassiske lokaliteter og steder, især i Sverige, men også nogle norske og danske bjergarter og lokaliteter er nævnt. Ikke mindst traditionelle stensbrydningsbetegnelser, der er vanskelige at slå op i ordbøger, er forklarede, hvilket er en af bogens stærke sider. En lærerig, nyttig og morsom bog. S.P.

**DANMARKS GEOLOGI fra Øvre Kridt til i dag** er fællestitlen for to bøger, der er sammenstillet af *Ole Bjørnslev Nielsen (Geologisk Institut, Aarhus Universitet)* og *Peter Sandersen (Dansk Geo-serVex a/s)*.

Bind 1 (1989, 196 sider) omfatter beskrivelser af Øvre Kridt og Tertiæret samt geofysiske metoder, Bind 2 (1990, 198 sider) omfatter Kvartærgeologi og hydrogeologi. Alle enkeltkapitler er skrevet af forskellige forfattere, der selv har vægtet indholdet. Nogle afsnit kan læses umiddelbart, mens andre nok kræver nogen forhåndsviden.

Begge bind kan bestilles ved *Geologisk Institut, Århus Universitet, Universitetsparken, 8000 Århus C*. Prisen er 40 kr for bind 1 og 50 kr for bind 2. Hertil kommer forsendelsesomkostninger. St.Sj.



Figur 4. Skrivekridt-brachiopoder. Øverst til venstre ses to ventralskaller af *Crania*. Eksemplaret til højre viser en lille tilhæftningsflade. Øverst til højre to *Rhynchonellida*, der ligger i naturlig stilling på den flade ventralskal og har tabt stilken. I nederste række er alle eksemplarer *Terebratulida*. En stor 'tumling', der har tabt stilken ses til venstre, i midten en stor form, der havde en stærkt opsplittet stilke, som bandt dyret sikkert fast til mange små skalfragmenter i sedimentet (vi kender nært beslægtede arter med samme levevis i dag. Nederst til højre ses tre fritliggende, halvkugleformede arter uden stilke. Foto: Ole B. Berthelsen.

mer generobrede den bløde bund på kontinentsoklerne og koloniserede oceanbundene. Sent i Øvre Kridt forsvandt de store brachiopoder fra lavt vand på den nordlige halvkugle. Deres videre historie vil blive behandlet i en efterfølgende artikel. Den er måske ikke resultatet af en global krise, men er ikke mindre spændende af den grund.