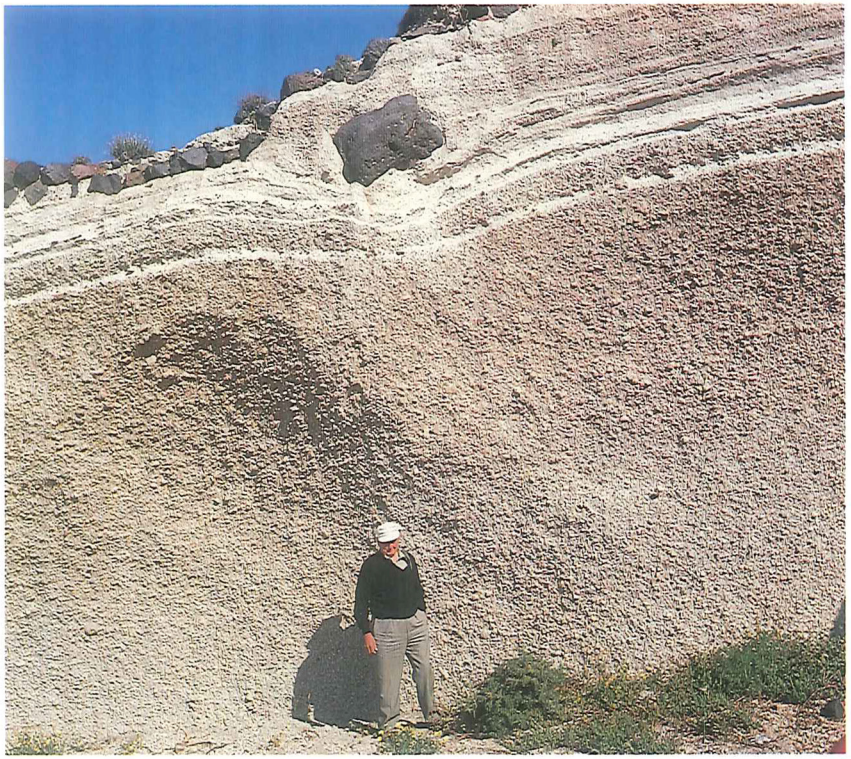


Hvide pimpsten fra det Minoiske udbrud er det mest iøjnefaldende i Santorini calderaen. I dette profil er lapilli fra enhed A (se artiklen inde i bladet) helt dominerende, mens enhed B næsten helt mangler. Det store sprængstykke af andesit ligger i enhed C. Ved sit nedfald har sprængstykket sannempresset de underliggende lag.

Personen på billedet er den nyligt afdøde vulkanekspert, professor Arne Noe-Nygaard, hvis sidste studieture netop gik til Santorini.

VARV

NR. 3 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1991

BILLEDET HEROVER VISER ET STENÆBLE, DER ER UDFYLDT MED CALCITKRYSTALLER. I EN ARTIKEL FORTÆLLES DER OM, HVAD STENÆBLER ER FOR NOGET. DESUDEN BERETTES DER OM PLADETEKTONISKE PROCESSER I PRÆKAMBRIUM I SYDGRØNLAND, SAMT OM NOGLE NATURLIGE SUPERELLIPSOIDER AF MINERALET PHLOGOPIT – OGSÅ FRA GRØNLAND. ENDELIG BRINGER VARV ANDEN DEL AF BERETNINGEN OM EUROPAS STØRSTE VULKANUDBRUD.

ISSN 0105 – 6301 1991 – 11 – 01

I sidste nummer af Varv bragte vi en artikel om 'Tre runde flinteknolde' skrevet af Richard Bromley med en opfordring til læserne om at berette om lignende fund.

Artiklens forfatter og Varvs redaktion takker de læsere, der har reageret ved at indsende nye eksemplarer eller fotos af lignende flinteknolde.

Richard Bromley er i gang med at undersøge det nye materiale, og i næste nummer af Varv vil der komme en beskrivelse heraf.

I næste nummer af Varv vil der blandt andet være en omtale af glimmer samt en beskrivelse af et par spændende kystprofiler med senglaciale aflejringer på Møn.

Billedet på forsiden er fotograferet af Ole Bang Berthelsen.

VARV

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Centralinstitut, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Telefon: 33 11 22 32 Telefax: 33 11 46 37.

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: Lena Madsen og Steen Sjørring

Repro: FBN Litho ApS, København
Tryk: Johnsen+Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 80 kr i abonnement for 1991. Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80, eller 80 SEK til VARVs svenske postgirokonto: 4388–5.

Adresseændringer bedes meddelt VARV !

©1991 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale.

mikroskoppraksis er velkomne tilskud til den dansksprogede litteratur. Her findes en samlet, velformuleret og letlæst gennemgang af alle de vigtigste begreber og konventioner. Gennemgangen af mikroskopets anatomi burde kræves læst af alle, som har adgang til et polarisationsmikroskop.

Der er ingen tvivl om, at forfatterens hjerte ligger i mineralogien. De petrografiske afsnit rummer en del sproglige stilbrud, ligesom der mangler noget af den autoritet, som udmærker de tidligere kapitler. Begreber som 'store mineraler' burde ikke forekomme.

Af hensyn til den interesserede amatør burde bogens stikordsregister have markeret mineralnavne med fed skrift eller på anden måde, men det er imponerende, at Hans Dieter Zimmermann har været i stand til at formidle sin tyske mineralogiskoling på et så glimrende dansk.

Bogen er rigt illustreret og indeholder blandt andet 13 farveplancher. Akademisk Forlag skal have ros for at udgive en så specialiseret bog - med en formodentlig meget begrænset kundeskare - i et så flot udstyr. Prisen er påfaldende lav sammenlignet med tilsvarende udenlandske udgivelser. Bogen kan varmt anbefales til såvel geologistuderende som til geologer og andre, der beskæftiger sig med petrografi og/eller polarisationsmikroskopi, medens den nok er for specialiseret for de fleste mineralinteresserede amatører.

Minik Rosing

Arne Villumsen: Det danske vand – vandet i jorden. *Geografiske Temahæfter, Gyldendal, 1991, 62 sider, 158 kr incl. moms.*

Det danske vand – vandet i jorden beskæftiger sig med grundvandet, hvordan det dannes, hvor det findes, og hvilken kvalitet det har, i form af naturligt indhold af kemiske forbindelser, men også den sammensætning vandet har fået i kraft af den tiltagende forurening.

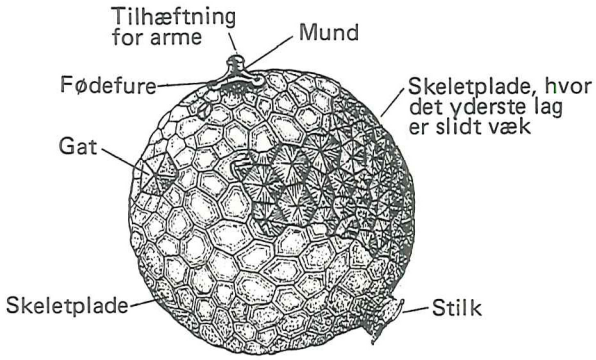
Bogen er fyldt med eksempler fra mange forskellige steder i Danmark, både i illustrationer og i tabeller med faktiske målte værdier, der således giver en baggrund for læseren til selv at vurdere forskellene fra sted til sted.

Selv om bogen først og fremmest er skrevet til undervisningen i gymnasiet og lignende niveauer, kan den med fordel læses af mange andre. Fysiske og kemiske love og forhold er i vid udstrækning holdt i boxe, så de ikke bryder ind i den løbende tekst.

En mangel ved bogen er, at der ikke er en fortegnelse over den litteratur, hvorfra en del af figurerne er hentet. Det ville være en hjælp for de læsere, der gerne ville vide lidt mere, og det kunne også give mulighed for at få klarlagt nogle af de mindre indlysende bogstavkombinationer, der stedvis optræder i diagrammerne, selv om en hel del af dem er forklaret i en udmærket ordliste bag i bogen.

Steen Sjørring

gen. To væsentlige ting mangler dog i denne rekonstruktion. Fordet første ved man kun lidt om udformningen af de 'arme', der har været tilhæftet omkring munden, og for det andet ved man intet om hvordan overfladens bløddele har set ud. Formentlig har dyrene spist mikroskopiske organismer, der er filtreret ud fra havvandet ved hjælp af de dårligt kendte arme, for så - via cilie-klædte føde-furer - at blive transporteret frem til munden. I lighed med nutidens søpindsvin må man antage, at den hule skal har været noget nær tom, undtagen når kønskirtlerne har været aktive.



Figur 3. Rekonstruktion af et eksemplar af Echinosphaerites *i næsten naturlig størrelse. Tegning: Christian Rasmussen.*

Bøger

Hans Dieter Zimmermann: Polarisationsmikroskopi - En introduktion for geologer. *Akademisk Forlag, 1989, 338 sider, 288 kr incl. moms.*

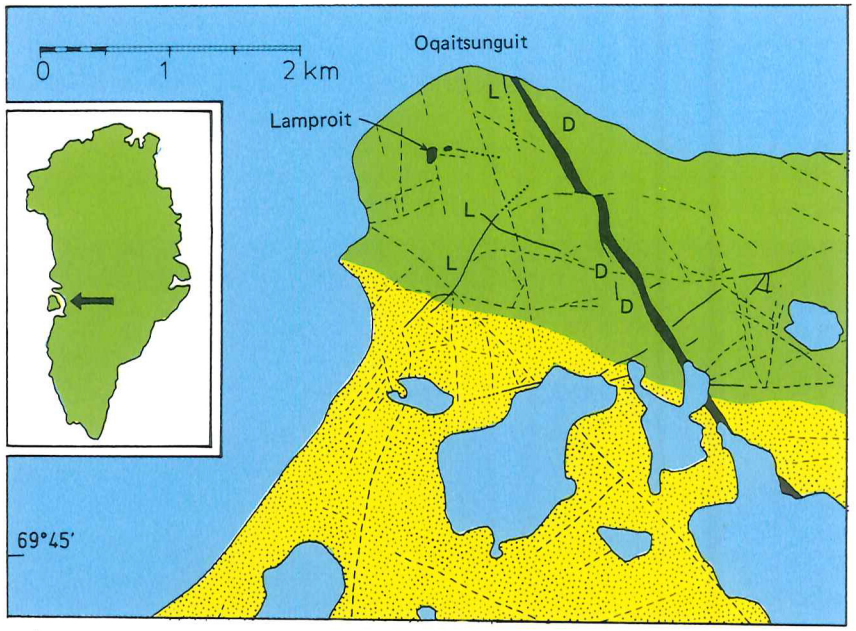
Jeg vil starte med at være uenig med titlen. Bogen vil være til gavn og glæde for mange andre end geologer.

Hans Dieter Zimmermann er lektor ved Aarhus Universitet og har gennem sin undervisning et godt grundlag for at bedømme behovet og niveauet inden for krystaloptik og den praktiske brug af mikroskopet. Bogen er veldisponeret, omend noget konventionelt opbygget, med introduktionen til lyslære, almen optik, krystaloptik og mikroskoppraksis. Herefter følger kapitler om mineralbeskrivelse og -identifikation samt et kapitel om petrografi med en introduktion til petrologisk tolkning. Især de krystaloptiske kapitler og kapitlet om

Naturlige superellipsoider

af Lilian Skjernaa

I 1989 deltog artiklens forfatter i Grønlands Geologiske Undersøgelses kortlægningsprojekt i Disko Bugt-området ca. 60 km nord for Ilulissat/Jakobshavn i Vestgrønland. Den 22. juli havde jeg sammen med min assistent Lis Friberg brugt det meste af dagen til at kortlægge geologien på forbjerget Oqaitsunguit. Dette forbjerg består af em magmatisk bjergart, som er 2800 millioner år gammel og som tidligere blev kaldt Atâ granit.



Figur 1. Kortet viser beliggenheden af lamprofyrforekomsten på forbjerget Oqaitsunguit. Grøn farve er udeformeret Ata granit mens den gule farve er deformerede graniter og gnejser. Linier markeret med 'L' er lamprofyrgange, og linier markeret med 'D' er doleritgange.

Bjergarten, der er magmatisk lagdelt, indeholder mange mindre årer og smågange af pegmatit og aplit, men ellers er den ret ensartet. Den er dog stedvis også gennemsat af yngre doleritgange og nogle ultramafiske gange.

Det var aftalt, at projektets helikopter skulle komme og hente os på et aftalt sted og flyve os tilbage til lejren, men der var lige tid til en tur op over en bjergknold for at konstatere - troede vi - at også denne knold bestod af den sædvanlige granitiske bjergart. Stor var overraskelsen derfor, da knolden viste sig at indeholde en højst usædvanlig bjergart, der med sin bronzebrune farve og glimtende overflade allerede på afstand skilte sig ud fra omgivelserne.

Ved nærmere eftersyn viste forekomsten sig at være endog særdeles exceptionel. Selve bjergarten bestod overvejende af phlogopit - et glimmermineral - som gav den bronzebrune farve og glimtende spalteflader. Phlogopitten lå som uorienterede, op til 0,5 cm lange korn, der mere eller mindre fuldendt havde den flade, sekskantede form, som er normal for glimmermineraler. Hvad der dog overraskede mest var, at der spredt i bjergarten sad 0,5–6 cm lange korn, ligeledes af phlogopit. Disse havde ikke den sædvanlige pladeform, man var derimod ellipsoide- eller nærmere superellipsoideformede. Hverken vi eller nogle af de andre ekspeditionsdeltagere havde nogen sinde set eller hørt om phlogopit med en sådan form.

Nogle steder sad flere superellipsoider sammen i en klump, men de fleste sad enkeltvis med en indbyrdes afstand fra nogle få cm til dm. Mange var blevet frigjort ved forvitring og lå skyllet sammen i smålavninger, hvor de mest af alt lignede chokoladeæg i en skål. Nogle var også skåret over i forbindelse med forvitringen, så man kunne se, at de var koncentrisk opbyggede.

Figur 2. Lamproit med tætliggende phlogopit superellipsoider. Øverst til højre ses en del af en xenolit.

Figur 2. Samme kalksten som i figur 1 med tre nydelige krystalkældre (se også forsiden, der viser et tilsvarende eksemplar fra egnen omkring Skövde i Sverige). Foto: Jan Aagaard.

Cystoidé'erne hører til Pighudernes række (Echinodermata), og de er således beslægtede med nutidens søpindsvin, søstjerner og søliljer. Specielt for hele denne række af dyr er, at de har et indre calcit-skelet, hvor hvert enkelt skeletelement (d.v.s. hver plade, hver pig eller hvert armled) er opbygget som ét, meget porøst krystal-individ. Når et sådant dyr dør og skeletdelene derfor eksponeres, vil der hyppigt ske det, at disse 'krystal-svampe' meget hurtigt vil vokse videre, således at hele det oprindelige netværk bliver fyldt ud. Som resultat får vi en massiv krystal hvis ydre form fortsat svarer til det oprindelige skelet-element, men helt som ved 'normale' calcit krystaller vil der dannes meget veludviklede spalteflader når skelet-elementet knækkes. Specielt for de Pighude hvis skelet danner lukkede rum - som f.eks. netop cystoidé'er - sker der ofte det, at de enkelte plader/krystal-individer i skallen med tiden fortsætter deres vækst yderligere ind i hulheden. Da den fortsatte vækst jo er fuldstændig a-biologisk, vil krystallerne danne helt normale krystalflader, så snart de vokser ud over den oprindelige skeletplades grænser. Som resultat kan vi derfor nu se de nydeligste krystal-kældre, når vi slår en sådan skal åben.

Men hvad var de egentlig for nogle dyr, disse cystoidé'er? Som ved alle forlængst uddøde dyregrupper er vi jo henvist til at foretage en rekonstruktion ud fra særligt velbevarede fund. På denne baggrund må man antage, at de Ordoviciske 'stenæbler' afbilledet her oprindeligt har set ud omtrent som på tegnin-

"Stenæbler"

af Eckart Håkansson

Mange steder i de Ordoviciske kalksten i Skandinavien finder man nogle meget iøjenfaldende forsteninger, der mest af alt ligner krystal-kældre eller -druser.

Det drejer sig om resterne af nogle helt uddøde dyreformer, der optræder i aflejringer fra det ældste Ordovicium frem til Devon. I gamle dage hed de med et fint ord Cystoidea, men da nøjere undersøgelser efterhånden har godtgjort, at de dyr, der omfattedes af denne betegnelse, kunne adskilles i to ret forskellige grupper, vil det idag være mest korrekt at kalde dem henholdsvis Rhombifera og Diploporita. Begge disse grupper er hyppige i Skandinavien, men som de optræder her, ser de nu umiddelbart ret ens ud, og i daglig tale går det nok stadig an at kalde dem cystoidé'er - eller måske til nød 'stenæbler'.

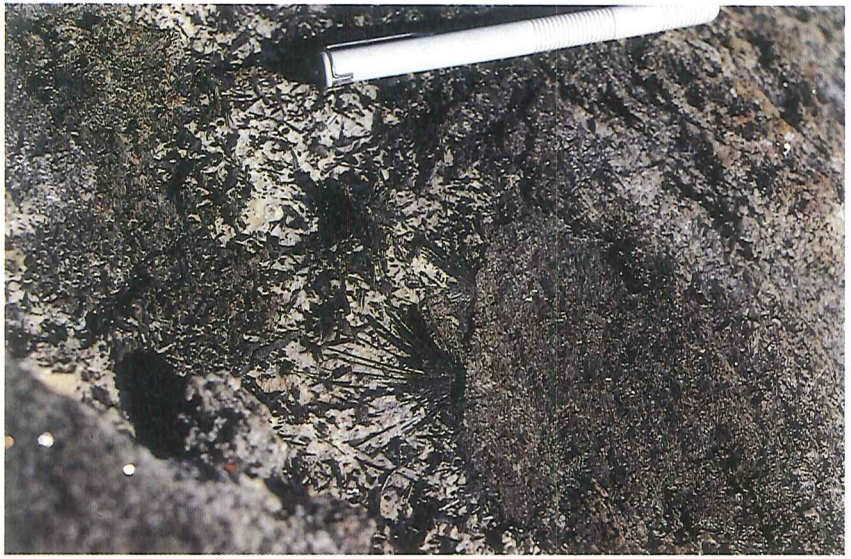
Figur 1. Nedre ordovicisk kalksten fra Øland. Kalkstenen er næsten fuldstændigt pakket med kugleformede cystoidé'er af slægten Echinosphaerites. *Flere eksemplarer ses at være udfyldt med radiært orienterede calcitkrystaller. Foto: Jan Aagaard.*

Figur 3. Et udvalg af superellipsoider. Bemærk den koncentriske opbygning, som ses i den halve ellipsoide bagest i midten.

Den eftermiddag, da forekomsten blev opdaget, var der kun tid til en overfladisk undersøgelse. Det blev konstateret, at phlogopitbjergarten findes i to adskilte områder med en indbyrdes afstand på ca. 20 m. Det største område er ca.

Figur 4. Lamproit-lokaliteten set fra helikopter. Det lille vandhul er omtrent 10 meter bredt og ligger i kanten af den mørke lamproit, som grænser op mod lysere granodiorit i begge sider af billedet.

75 x 50 m og det mindste ca. 10 x 15 m. Grænserne mod den omgivende bjergart er stejle, og mange stumper af denne sidesten findes som xenoliter i phlogopitbjergarten, hvor de er blevet kraftigt omdannet ved en kemisk og termisk påvirkning fra denne.

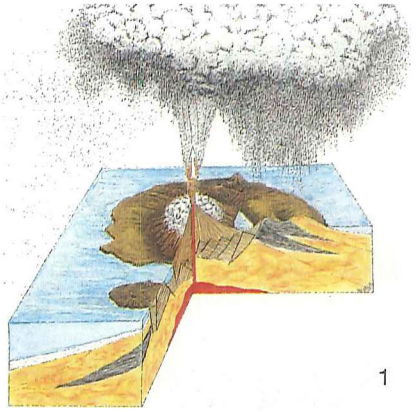


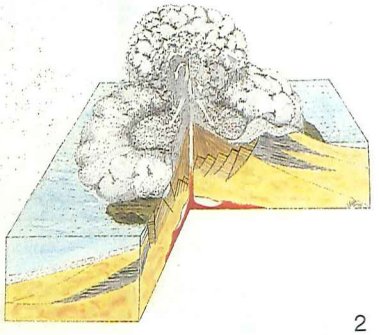
Figur 5. Sidestensfragment (en xenolit) med strålet kalium-magnesium-arfvedsonit.

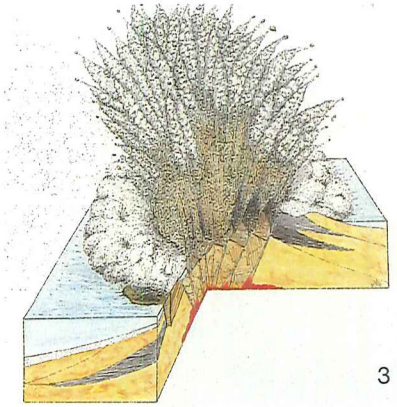
Som nævnt er phlogopitbjergarten bronzebrun, men mod randen bliver den mere blågrøn. Dette er tydeligvis en følge af, at det magma, som ved sin krystallisation dannede forekomsten, ved randen er blevet blandet med opsmeltet sidesten. Det var således fra startet klart, at der var tale om to intrusive legemer, eller måske om en enkelt forgrenet lodret intrusion, en såkaldt stok.

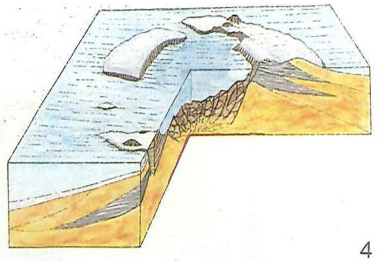
Der blev kun mulighed for endnu et kort besøg på lokaliteten senere på sommeren, hvor der blev tegnet en kortskitse og indsamlet flere prøver. Det var i øvrigt en besværlig affære, da bjergarten er så blød og smuldrende, at det næsten er umuligt at slå et ordentligt stykke af med hammeren.

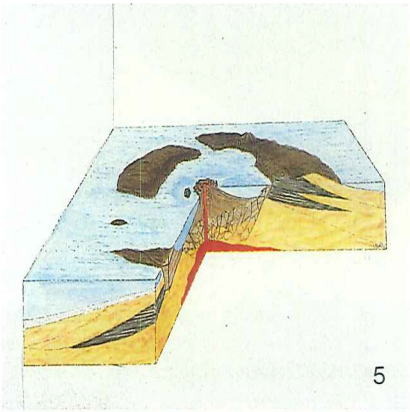
Siden fundet af denne usædvanlige bjergart og de endnu mere usædvanlige superellipsoider, er begge dele blevet underkastet mikroskopiske undersøgelser, og der er udført kemiske analyser af såvel bjergarten som af de enkelte mineraler. Endelig er der foretaget aldersbestemmelser af bjergarten. Samtidig blev der søgt efter oplysninger om tilsvarende forekomster i litteraturen og ved henvendelse til forskere, der kunne formodes at sidde inde med sådanne oplysninger. Resultatet var magert, kun et eksempel på en forekomst med tilsvarende 'phlogopit-æg' synes at være kendt, det er en forekomst i Canada, men 'æggene',











Akvarellerne er udført af Laila Berthelsen.

tænkes at danne baggrund for sagnet om Israelitternes tørskoede vandring over Det Røde Hav, og de forfølgende Ægypteres frygtelige endeligt i vandmasserne umiddelbart efter.

Den 4. og sidste fase af udbruddet er repræsenteret af en 0,5-2 m tyk aflejring - enhed D - som i udseende og sammensætning minder meget om enhed C. Materialet i enhed D synes dog at være sekundært omlejret, blokindholdet er noget større og der er en skarp grænse imellem enhed C og D. I modsætning til de forudgående aflejrings-faser er enhed D tydeligt tyndest i de højest beliggende områder ind mod calderaen. Man kan derfor forestille sig, at den afsluttende aktivitet i vulkanen fulgtes af kraftige regnskyl, der har vasket allerede aflejrede pimpsten og sprængstykker fra toppen af enhed C ned ad skråningen på calderaens yderside. Nogle mener dog ligefrem, at vi i enhed D direkte ser resultatet af tsunami-bølgerne da disse i slutfasen skvulpede op over caldera-randen.

I løbet af udbruddets sidste faser dannedes den caldera vi kender i dag med de tre øer Thera, Therasia og Aspronisi. Som beskrevet i sidste nummer af Varv er Santorini vulkanen nu i starten af en ny udviklings-cyklus, der uden tvivl vil lede frem til endnu et udbrud af omfang som det Minoiske. Måske 6 gange indenfor de sidste 900.000 år har Santorini haft et sådant udbrud, og der er næppe tvivl om, at det vil ske igen - om der til den tid er mennesker på Santorini er så et andet spørgsmål.

Tegneserie af det Minoiske vulkanudbrud på Santorini år 1628 før vor tidsregning:

1. *Forløbet begynder med et udbrud, hvor en 25–30 km høj søjle af pimpsten rejser sig fra vulkanen på den Minoiske ø Stronghyle. Asken spreder i et 2–3 m tykt lag over øen samt føres med vinden ud over Ægæerhavet og det østlige Middelhav (Enhed A).*

2. *Gastrykket kan ikke længere bære askesøjlen, som kollapser og styrter sammen, ledsaget af en trykbølge, en såkaldt 'base surge', radiært ned over øen. (Enhed B).*

3. *Efter den voldsomme gas- og askeudladning kan magmakammeret ikke længere bære vulkanbjerget, som styrter ind sammen med store mængder havvand. Ved kontakten mellem restsmelten og det indtrængende vand opstår der voldsomme dampeksplosioner, hvorved de indsunkne blokke af vulkanbjerget knuses og aflejres som en vulkansk breccie (Enhed C).*

4. *Efter vulkanudbruddet er ophørt fremtræder et ganske nyt landskab, pudret hvidt af 15–25 m pimpstensaske.*

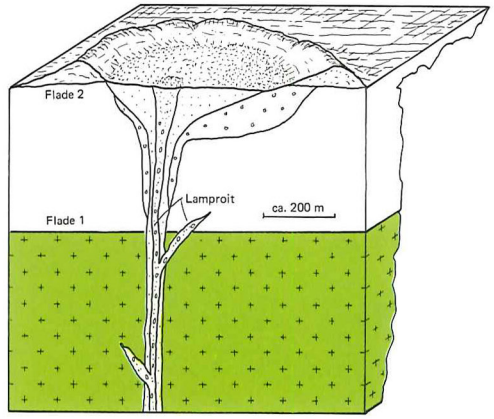
5. *En ny vulkan, Kaimeni, dukker i romertiden op i centrum af calderaen og vokser sig gradvis større gennem nogle få udbrud per århundrede.*

som de her kaldes, ligger i en noget anden bjergartstype. Desværre foreligger der kun en særdeles kortfattet beskrivelse derfra.

Ved et besøg i Geologisk Museums magasin i København viste det sig, at man der har opbevaret et enkelt eksemplar af en phlogopit superellipsoide, helt svarende til de, der er fundet ved Oqaitsunguit. Desværre kendes der ikke noget til dens oprindelse eller fundsted.

De indtil nu foretagne undersøgelser har vist, at phlogopitbjergarten er en såkaldt lamproit, omend en temmelig usædvanlig variant. Lamproiter forekommer som lavaer, som gange og - som på Oqaitsunguit - i mindre rørformede intrusioner, der nok ofte er de oprindelige tilførselskanaler til nu borteroderede vulkaner.

Lamproit er betegnelsen for en gruppe mafiske og ultramafiske bjergarter, der indeholder meget, ofte endda særdeles meget, kalium og magnesium. Sammen med blandt andet kimberlitterne tilhører de den såkaldte lamprofyrklan. Lige som kimberlitterne kan lamproiterne være diamantførende, hvilket viser, at de stammer fra stor dybde i Jorden, idet diamanter kun dannes ved trykforhold som det, der findes mere end 150 km under overfladen.



Figur 8. Skematisk snit gennem en lamproitvulkan. Forekomsten på Oqaisunguit kan svare til, at området er eroderet ned til flade 1 på tegningen. Flade 2 er så den 1750 millioner år gamle erosionsoverflade. Lagserien mellem flade 1 og 2 kan have bestået af granit, lava eller sedimenter, der nu er eroderet bort. Grøn farve angiver Atâ granit.

Den lamproit, der danner matrix for superellipsoiderne ved Oqaitsunguit, består af mere end 50% phlogopit. De øvrige mineraler er feldspatten mikroklin, to forskellige amfiboler (kalium-richterit og kalium-magnesium-arfvedsonit), to pyroxener (ægirin-augit og diopsid), kalcit og endelig apatit samt små mængder titanit og rutil.

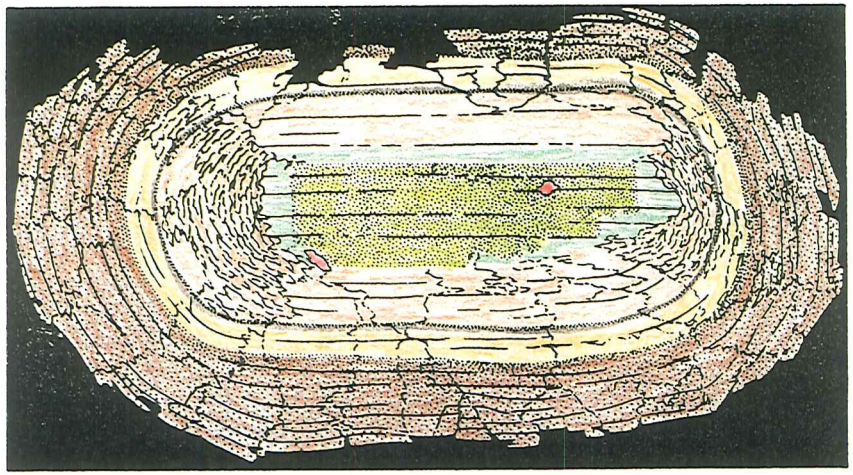
Det store indhold af phlogopit er usædvanligt. 'Normale' lamproiter indeholder kun op til 25%. Endnu mere usædvanligt er det, at bjergarten indeholder mikroklin. Det er langt mere almindeligt, at lamproiter indeholder feldspatoiden leucit, og i de få tilfælde, hvor der er feldspat til stede, er det normalt sanidin.

Også kornstørrelsen gør Oqaitsunguit lamproiten usædvanlig. De fleste lamproiter er finkornede, men som allerede nævnt er kornstørrelsen af phlogopiten op til 0,5 cm, foruden de endnu større superellipsoider. Mikroklin og amfibol danner helt op til 2 cm store korn, der omslutter de øvrige mineraler, og derfor må de være dannet sent i krystallisationsforløbet.

Kemisk adskiller Oqaitsunguit lamproiten sig fra andre lamproiter især ved at indeholde relativt lidt siliciumdioxyd (SiO_2) og titaniumdioxyd (TiO_2), nemlig henholdsvis 39% og 1,3%. Dette kan sammenholdes med et gennemsnit for 846 lamproiter fra hele verden på SiO_2 = 51% og TiO_2 =4,1%. Især det lave TiO_2-indhold er overraskende, blandt andet fordi der findes titanit i bjergarten. Det skyldes, at såvel phlogopiten som amfibolerne er usædvanligt titanfattige af lamproitmineraler at være.

Oqaitsunguit lamproiten er også relativ fattig på grundstofferne jern, natrium og vanadium, men er til gengæld forholdsvis rig på magnesium, nikkel, strontium og krom.

Endelig er der Oqaitsunguit lamproiten meget gammel. Kalium-argon aldersbestemmelser på phlogopit (dels fra matrix og dels fra en superellipsoide) gav begge en alder på ca. 1750 millioner år, hvilket gør Oqaitsunguit lamproiten til den ældste daterede lamproit, mens den hidtil ældste 'kun' er ca. 1300 millioner år gammel.

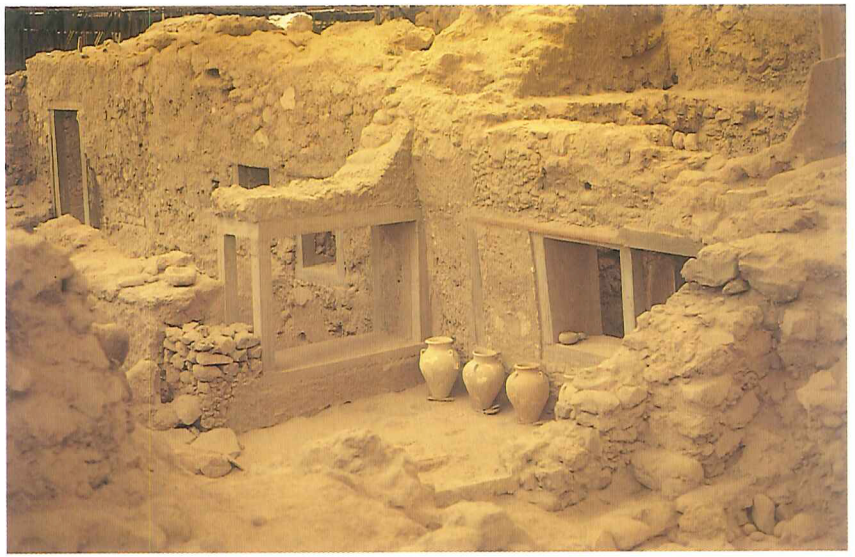


Figur 7. Tegning af en gennemskåret superellipsoide (samme som i fig. 8 og 9). Det centrale korn er vist med grønne farver, skal-kornet med gulbrune og orange farver. De forskellige farvenuancer viser den zonare opbygning af kornene. Små inklusioner af kalcit er vist med rødt. Tegning: Renē Madsen.

som ringe i vandet ud fra eksplosions-stedet med en hastighed på op til flere hundrede kilometer i timen, og når de når frem til en kyst presses enorme vandmasser op i 30 til 50 meters højde. Kystområder der bliver ramt, bliver derfor fuldstændigt raseret, og det som den første bølge ikke får has på, ordner den næste.

Tsunamis kan bevæge sig over tusinder af kilometre, og de er især kendt og frygtet i Stillehavet, hvor jordskælv i Alaska med timers forsinkelse vil sprede død og ødelæggelse på Hawaii. Det er derfor nærliggende at tænke, at alle kystområder på øerne rundt om Santorini er blevet renspulet op til måske 50 m højde, som vi også så det i Sundastrædet efter Krakataus tilsvarende udbrud i 1883.

Den Minoiske kulturs centrum på Kretas nordkyst var direkte eksponeret for tsunami-ringene fra Santorini kun 150 km borte, og det kan som tidligere nævnt være rimeligt at antage, at den altødelæggende virkning af disse tsunamis var den egentlige årsag til den Minoiske kulturs sammenbrud. Mennesker der tilfældigvis har opholdt sig i en højde over de 50 m vil næppe nogen sinde glemme synet af disse enorme vandmasser, som presser sig langt ind i land for derefter at trække sig tilbage langt uden for den tidligere kystlinie efterladende havbunden fuldstændigt tørlagt. For derefter igen med den næste gigantbølge at se hele det gruopvækkende sceneri gentaget. En sådan oplevelse kan meget let



Figur 6. Ved udgravningen af Akrotiri har man blotlagt de velbevarede dele af bygningerne, der blev begravet inden 'base surge' ødelæggelserne i fase B. (Betonbjælkerne repræsenterer hulrum efter de oprindelige trækonstruktioner).

Figur 5. Nærbillede af den vulkanske breccie (enhed C) med talrige andesitklaster og en enkelt stromatolit (ved knivspidsen).

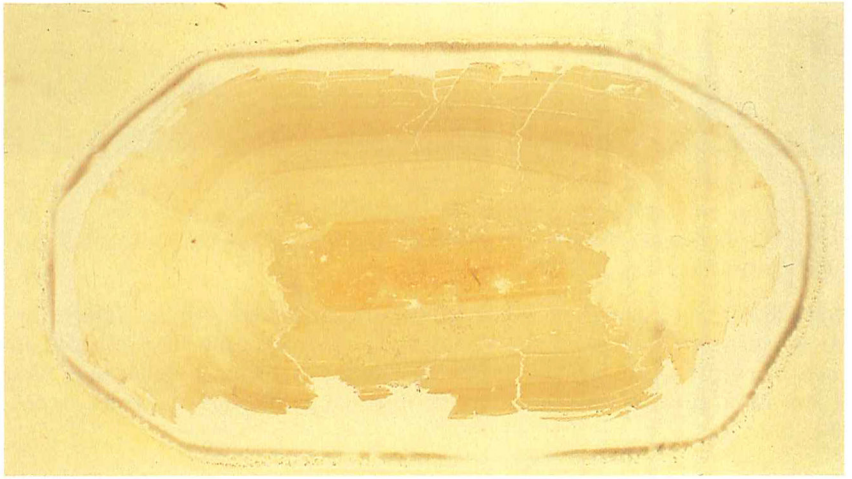
krystalliserede dele af magmakammeret. Spredt i den gigantiske breccie ses endvidere enkelte husstore brudstykker med askelags-serier, der ved nærmere analyse kan genfindes i calderavæggen.

Den totale mangel på lagdeling eller gennemgående horisonter i enhed C viser, at afsætningen er foregået under mere eller mindre kontinuerte eksplosioner uden længere pauser, hvor pimpstens-støvet har kunnet falde til ro. Tilstedeværelsen af 20-30 m store sprængstykker i selv de øverste dele af afsætningen viser, at meget voldsomme eksplosioner har fundet sted helt hen i mod afslutningen af denne udbrudsfase. Hvor længe den 3. fase af vulkanudbruddet har varet, ved man af gode grunde ikke, men også den har givetvis været kort.

Indstyrtningen og de deraf følgende eksplosioner har uden tvivl forårsaget en serie af de frygtede tsunamis. Sådanne vulkanske flodbølger er ikke særligt måske blot 5-10 m. Men med en bølgelængde på 1 km eller mere bevæger de sig

Superellipsoiderne

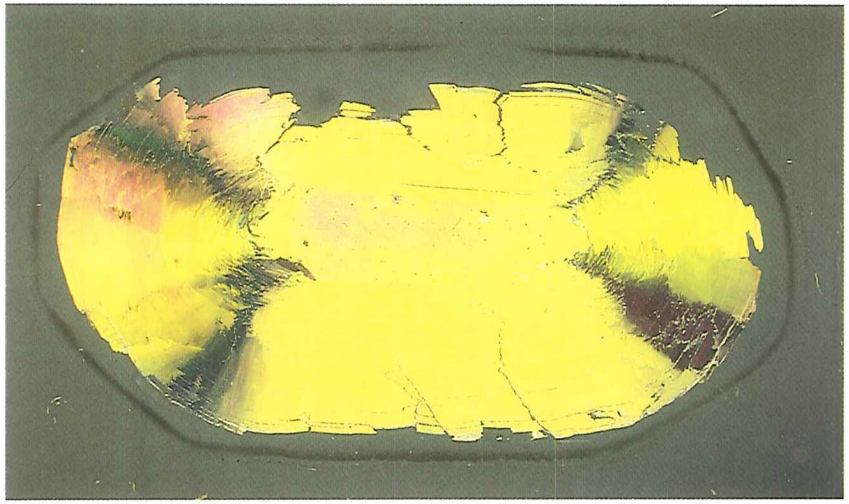
Hver superellipsoide består i hovedsagen af kun to phlogopitkorn. I midten af superellipsoiden ligger et større eller mindre centralt korn, som er normalt udviklet med den for glimmermineraler typiske pladeformede krystalform. Dette centrale korn omsluttes af en skal eller kappe af phlogopit, der også udgøres af kun et korn med en højst usædvanlig kurvet krystalform. At skallen kun består af et korn, ses af, at spalteridser og zonaritet kan følges kontinuert hele vejen rundt i kornet, når det ses i mikroskop. Der, hvor krumningerne er størst, er kornet dog opdelt i subkorn, det vil sige områder med op til 10° forskel i orienteringen i krystalgitteret mellem to naboer. Omkring enderne af det centrale korn er krumningen størst, og der er subkornene små og langstrakte parallelt med grænsen til det centrale korn. Længere ude har grænserne mellem de mindre korn et radierende sik-sak-forløb. Inden for hvert subkorn kan krystalgitteret bøje op til 5°.



Figur 8. Tyndslib af superellipsoide (samme som i figur 9) set i plant lys. Her ses den zonare opbygning af såvel de centrale korn som skal-kornet. Zonaritetten giver sig til kende ved farveforskelle, der skyldes små kemiske variationer imellem zonerne.

Den ydre form af superellipsoiderne varierer og er styret af formen og størrelsen af det centrale korn og af tykkelsen af skal-kornet, men det er stadigvæk et uopklaret mysterium, hvordan og hvorfor phlogopit superellipsoiderne i Oqaitsunguit er dannet. Deres fuldendte form og deres ringe indhold af indeslutninger af andre mineraler viser, at de er dannet tidligt i magmaets størkningsforløb. Kun i enkelte tilfælde er deres form blevet delvis beskadiget, ved at andre korn har presset sig ind i dem under den fortsatte krystallisation. Sandsynligvis er de centrale korn dannet som strøkorn i smelten, og formentlig som følge af gas-

strømninger sat i roterende bevægelse, hvorved deres fortsatte vækst er sket ved koncentrisk krystallisation af de ydre skaller.



Figur 9. Tyndslib af superellipsoide (samme som i figur 8) set i polarisationsmikroskop med krydsede nicoller. Her ses subkornene som områder med lidt forskellig indbyrdes farver. De vifteformede udslukkede områder viser bøjningen i krystalgitteret.

Det bliver spændende at se, om andre tilsvarende superellipsoider dukker op i de kommende år. I så fald vil det nok ske i ubeboede egne eller i forbindelse med minedrift eller lignende. Superellipsoiderne er alt for iøjnefaldende til at kunne være forblevet upåagtede, hvis de forekom på steder, hvor mange mennesker færdedes.

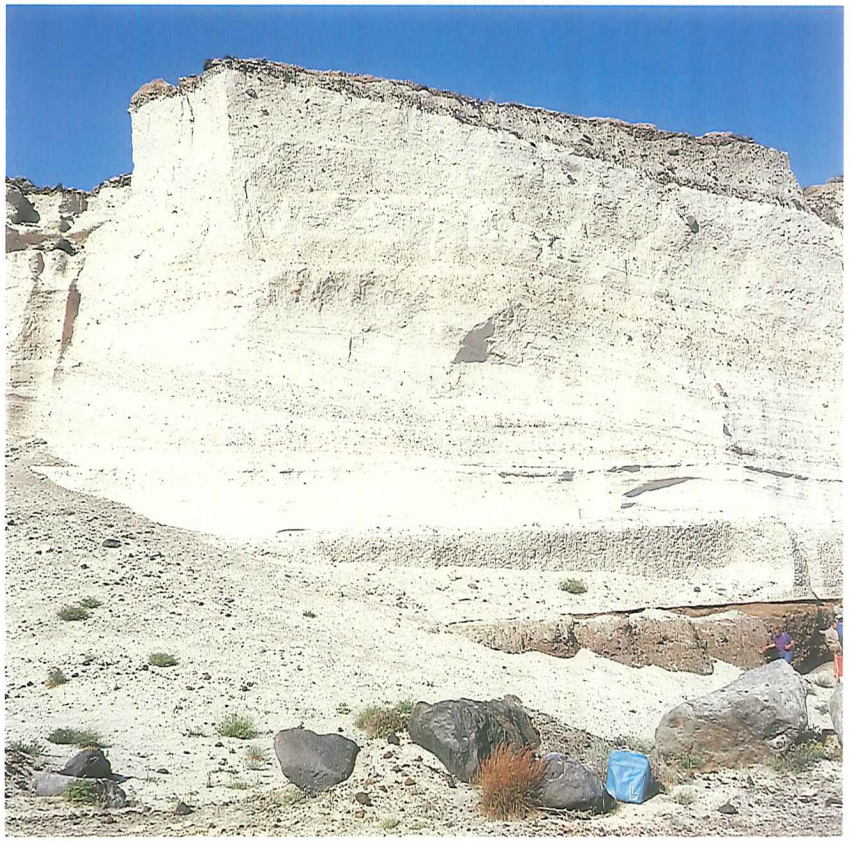
Efterskrift

Superellipser er navngivet af Piet Hein og er kurver, hvis form ligger mellem ellipsens og rektanglets. De hører til den familie af kurver, der kaldes Lame's kurver, og hvis generelle formel er:

$$\left|\frac{x}{a}\right|^n + \left|\frac{y}{b}\right|^n = 1,$$

hvor a og b er længderne på de to halvakser. Når n = 2 er formen en ellipse, og når n = ∞, er det et rektangel. Superellipserne har n > 2.

Piet Heins superæg er en omdrejningsellipsoide, som er fremkommet ved rotation omkring storaksen (den længste akse) af en superellipsoide med n = 2,5.



Figur 4. Askeseriens centrale del består nederst af lavvinklet, krydslejret pimpstensaske aflejret i en 'base surge' (enhed B). Herover ses den mere homogene vulkanske breccie i enhed C.

Brudstykker af vulkanbjerget, nogle af dem 20-30 meter store, slyngedes sammen med de før omtalte stromatolitter fra den vandfyldte gamle caldera flere hundrede meter til vejrs og spredtes sammen med pimpstens-aske over hele øen og det omliggende havområde i et op til 20 meter tykt lag. I profilvæggen er denne 3. fase - enhed C - let erkendbar som en vulkansk breccie med pimpstens-lapilli af noget forskellig kornstørrelse (0,1-3 cm) og større, spredte bjergartsfragmenter (typisk 5-100 cm, størst nærmest calderaen).

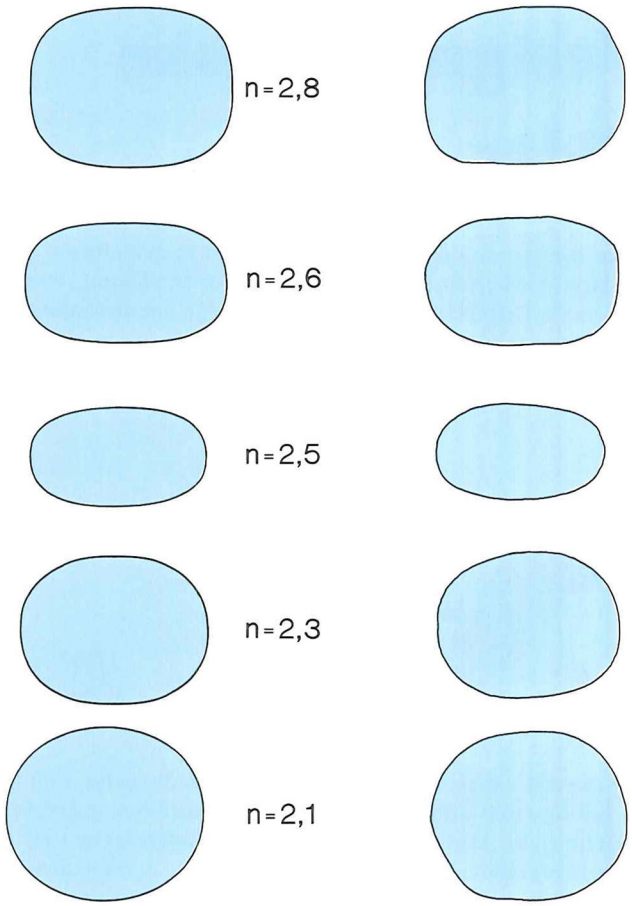
De dominerende sorte sprængstykker er hovedsagelig af lati-andesitisk sammensætning, hvilket vil sige materiale fra selve den gamle vulkanbygning, men man finder også enkelte stykker af en mellemkornet diorit, der må stamme fra ud-

Den totale mangel på menneske-rester og den stærkt begrænsede mængde husgeråd fundet i forbindelse med udgravningen i Akrotiri tyder på at byen har været forladt inden den blev begravet i aske. Der er derfor næppe tvivl om, at det egentlige udbrud har været 'forvarslet' igennem både jordskælv og vulkanudbrud, således at man uden alt for stort hastværk har kunnet samle sine ejendele og drage bort. Nødtørftige reparationer af murværk i byen viser dog, at en begrænset del af befolkningen blev tilbage til en meget uvis skæbne.

Så en dag i år 1628 før hvor tidsregning (tror man nok, efter forskellige forsøg på datering) formørkedes den ellers klare høsthimmel næsten totalt af store mængder vulkansk aske fra en gigantisk askesøjle, der rejste sig til en højde af 25-30 km over vulkanen, understøttet af en brølende jetstrøm af undvigende gasser. Jorden rystede under frigørelsen af gasser fra det seje andesitiske magma, der oprindeligt var dannet dybt under vulkanen i forbindelse med en delvis opsmeltning af den afrikanske plade (se sidste nummer).

Materialet i denne askesøjle bestod udelukkende af pimsten, og efterhånden som det undslap den bærende jetstrøm faldt det tilbage til jordoverfladen, hvor det dannede det jævne, strukturløse lag af ret grovkornet pimpstens-lapilli vi overalt finder nederst i det Minoiske lag (enhed A på fig.). På gaderne i Akrotiri nåede askemængden hurtigt en tykkelse på ca. 3 meter medens tagene i de fleretagers huse begyndte at bryde sammen under vægten, således at de øvre dele af murene strittede nøgne op gennem asken. Efter kort tid - sandsynligvis meget mindre end en dag - stoppede gasudstrømningen. Alt tyder på at det er sket helt abrupt, således at hele den 30 kilometer høje askesøjle med et tordnende bulder styrtede tilbage mod jorden og spredte sig radiært ud over hele øen og langt ud over det omliggende hav. Foran sig pressede det tilbagefaldende materiale luften sammen i en trykbølge, der svarer til den, som frembringes ved en atombombe-eksplosion - en såkaldt 'base surge'. De opragende mure i Akrotiri kunne ikke modstå det enorme vindtryk og styrtede sammen. Strukturen i enhed B i pimpstens-bruddenes vægge viser, at denne base surge har aflejret en finkornet pimpstens-aske i såkaldte 'antidunes', der er typiske højhastigheds-strukturer, hvor materialet ophobes på *frontsiden* af de lavvinklede klitdannelser. Fænomenet base surge, der oprindelig er beskrevet fra nucleare prøvesprængninger, blev første gang observeret i forbindelse med vulkanudbrud under udbruddet i vulkanen Taal på Philippinerne i 1962.

Den enorme udladning af gas og opskummet smelte fra det magmakammer, som i løbet af de forudgående årtusinder udviklede sig 5-10 km under vulkanen, medførte, at magmakammerets tag ikke længere kunne bære den ovenliggende vulkanbygning. Under øredøvende brag kolapsede hele strukturen, således at havvand trængte ind og kom i direkte forbindelse med den resterende magma. Dette resulterede i en række gigantiske eksplosioner spredt over hele det ringformede areal, som i dag begrænses af øerne Thera, Therasia og Aspronisi.

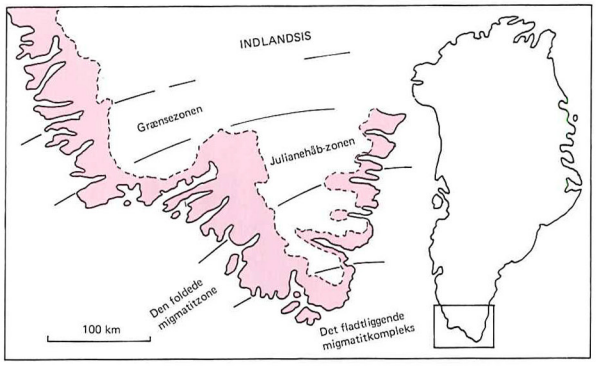


Phlogopit-superellipsoiderne er ikke omdrejningsellipsoider, men har tre hovedakser med forskellig længde. Figuren viser til højre nogle snit gennem fire phlogopit-superellipsoider fra lamproiten på Oqaitsunguit. I venstre række vises konstruerede superellipser med samme akselængder og med n-værdier, der svarer bedst muligt til de målte i phlogopit-ellipsoiderne. Det ses, at n-værdierne varierer fra 2,1 til 2,8. De to målte superellipsoider øverst til højre er snit gennem samme phlogopit-superellipsoide parallelt med henholdsvis største og mellemste akse og parallelt med største og mindste akse. De resterende tre målte ellipsoider viser snit parallelt med største og mellemste akse på forskellige superellipsoider. Rentegning: René Madsen.

De Vestgrønlandske Ketilider

af Niels Westphal

Den Ketilidiske Bjergkæde udgør størstedelen af det prækambriske grundfjeld i Sydgrønland. Mod nord grænser den op til det Arkæiske Kraton, som er grundfjeldet i det centrale Grønland, og det er den vestlige del af denne grænse, der skal omtales i det følgende.



Figur 1. Det Ketilidiske bælte i Sydgrønland.

Ketiliderne er opstået i forbindelse med en bjergkædedannelse, som fandt sted for mellem 1700 og 1900 millioner år siden, hvor store mængder af granitiske bjergarter trængte frem. Da Grønlands Geologiske Undersøgelse i 1950'erne og 60'erne kortlagde området, anså man disse graniter for at være dannet ved opsmeltning af ældre bjergarter af arkæisk alder - det vil sige ældre end 2500 mil-

Kambrium	
	ca. 570 mill. år
Øvre Proterozoikum	
	ca. 900 mill. år
Mellem Proterozoikum	
	ca. 1600 mill. år
Nedre Proterozoikum	
Den Ketilidiske Bjergkæde dannes:	ca. 1700–1900 mill. år
	ca. 2500 mill. år
Arkæikum	
Ældste kendte bjergarter	ca. 3800 mill. år

Figur 3. Den homogene enhed A ligger i et jævnt tykt lag over den Minoiske landoverflade, der her er eroderet ned i tidligere askeaflejringer. Lagdelingen i bunden af enhed B ses tydeligt.

caldera allerede i Minoisk tid, som en større vandfyldt fjordarm, der skar sig ind i Stronghyle. Bl.a. ved man, at Minoerne udnyttede mineralforekomster, som i dag stadig kan ses i de triassiske fylliter nederst i calderavæggen. Fund af blokke af stromatolitter (algeudskilt kalk) højt oppe i pimpstens-formationen især i den nordlige del af calderaen viser, at lavvandede dele af denne fjordarm har strakt sig langt mod nord.

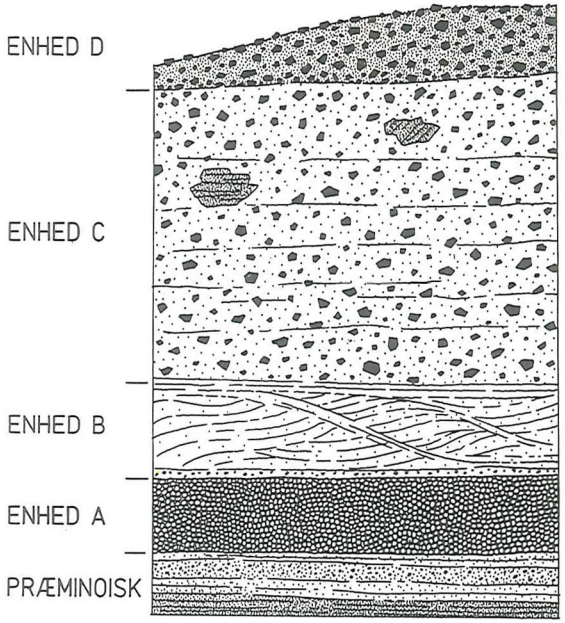
I de profilvægge, som den nu stoppede pimpstens-brydning har efterladt, kan man studere de meget forskellige aflejrings-strukturer, der er knyttet til udbruddets forskellige faser.Ialt 4 aflejrings- og dermed udbruds-faser kan erkendes, og ud fra forskellene i disse 4 aflejrings-faser, kan man rekonstruere udbruddets forløb fra start til slut.

voldsomme jordskælv og store flodbølger, hvorefter hele øen og alle dens beboere opslugtes af havet og forsvandt.' Ganske vist levede Platon mere end tusind år efter de voldsomme begivenheder på Santorini, men hans kortfattede beskrivelse er alligevel ganske præcis.

En sandsynlig sammenhæng mellem Atlantis-sagnet og den Minoiske kulturs undergang blev imidlertid først sandsynliggjort af den nutidige græske arkæolog Spyridon Marinatos, der fandt og udgravede dele af det Minoiske Akrotiri. Marinatos var ikke i tvivl om, at Santorini måtte være det forsvundne Atlantis, men da nyere undersøgelser viste, at der kun faldt 2-5 cm aske på Kreta i forbindelse med det Minoiske udbrud på Santorini, har det været vanskeligt at dokumentere en direkte sammenhæng med hele den Minoiske kulturs forfald. Men som det vil fremgå af denne artikel, har nogle af det Minoiske udbruds faser med stor sandsynlighed forårsaget enorme flodbølger - såkaldte tsunamis - der har lagt kysten på Kreta øde op til en højde af måske 50 meter.

Men lad os se på den geologiske evidens vi finder i de store pimpstens-brud langs den øverste del af caldera-kanten på Santorini, og herudfra forsøge at rekonstruere, hvad der egentlig skete på øen for lidt over 3600 år siden.

Brydningen er nu stoppet af miljømæssige hensyn, men gennem næsten hundrede år gravede man store dele af det Minoiske pimpstens-lag af og blotlagde derved den overflade, hvorpå det Minoiske Thera's mennesker levede. Som det fremgik af den sidste artikel om Santorini eksisterede dele af den nuværende



Figur 2. Profil af det Minoiske pimpstenslag på Santorini. Aflejringen kan tydeligt inddeles i 4 enheder, der hver svarer til en vulkanologisk hændelse.

lioner år. Isotopundersøgelser i 1970'erne og 80'erne taler imidlertid for en anden oprindelse og en mere kompliceret udvikling, som tyder på, at pladetektoniske processer var aktive allerede i ældre Proterozoikum.

Den Ketilidiske Bjergkædes opbygning:
Den Ketilidiske Bjergkæde kan deles i fire zoner fra nord mod syd:
Grænsezonen omkring Ivigtut består primært af arkæiske gnejser og metamorfoserede sedimenter og vulkanitter samt proterozoiske overfladebjergarter og graniter.
Julianehåb-zonen er et ca. 100 km bredt bælte bestående af store legemer af graniter og granodioriter.
Den foldede migmatitzone er i nord domineret af stærkt deformerede gnejser og migmatiter med intrusioner af graniter og granodioriter. I den sydlige del er der vidt udbredte overfladebjergarter, som er kraftigt metamorfoserede og ligeledes med intrusioner af graniter og granodioriter.
Det fladtliggende migmatitkompleks mod syd adskiller sig kun fra den foldede migmatitzone ved at have vandrette strukturer. Komplekset er intruderet af en paddehat-formet rapakivigranit. (Rapakivitekstur er omtalt på bagsiden af Varv 1990, nr. 2).

De Ketilidiske Graniters oprindelse
I alle graniterne har man undersøgt isotopforholdene i bly (Pb), uran (U) og neodymium (Nd). De tre graniter i Grænsezonen og Julianehåbsgraniten er tillige undersøgt for rubidium-strontium (Rb-Sr) isotopforholdet. Resultaterne af disse undersøgelser er vist i tabel 1.

Tabel 1. Resultater af isotopundersøgelser af en række udvalgte Ketilidiske graniter.

	Alder i mill. år (Pb/Pb)	Y_1	E_{Nd}
1. Storø Granit	1705+300/−380	7,58±0,15	−5,8
2. Quiartorfik Granit	1560+300/−380	7,30±0,02	−6,1
3. Kærne Granit	1720+90/−95	7,19±0,06	−7,1
4. Julianehåb Granit	1895+110/−120	7,87±0,10	0
5. Gnejsisk Granit	1840+45/−45	7,95±0,04	0
6. Porfyrisk Granit	1774+35/−35	8,03±0,03	0
7. Mikroklin Granit	1715+180/−205	8,01±0,02	0
8. Rapakivi Granit	2020+490/−730	7,98±0,19	0
	(Rb/Sr)		
1. Storø Granit	1835 145		
2. Quiartorfik Granit	1675 45		
3. Kærne Granit	1775 25		
4. Julianehåb Granit	1776 37		

Pb/Pb: Aldre bestemt ved $^{207}Pb/^{204}Pb$ og $^{206}Pb/^{204}Pb$.
Y_1: udtryk for $^{238}U/^{204}Pb$ (se boxen).
E_{Nd}: se boxen.
Rb/Sr: Aldre bestemt ved $^{87}Rb/^{86}Sr$ og $^{87}Sr/^{86}Sr$.

Hensigten med isotopundersøgelserne har været dels at bestemme bjergarternes aldre, og dels at afgøre, hvorvidt bjergarterne stammer fra et magma dannet i Jordens skorpe eller fra et magma dannet i kappen. Dette kan afgøres ved bestemmelse af bjergarternes Y_1- og E_{Nd}-værdier. Hvad disse begreber dækker over, er forklaret i den blå box.

Y_1: Udtrykker forholdet mellem isotoperne ^{238}U og ^{204}Pb. ^{238}U er radioaktiv og henfalder med tiden til ^{206}Pb. ^{204}Pb er stabil og bruges normalt som referenceisotop. Desuden henfalder ^{235}U til ^{207}Pb, og netop disse to radiogene (det vil sige dannet ved henfald af andre radioaktive isotoper) Pb-isotoper, som kan måles i en bjergart, lige som ^{204}Pb, anvendes ved beregningen af Y_1.

Man kan så - når bjergartens alder kendes - beregne Y_1-værdien på 'fødsels'-tidspunktet'. Denne værdi har stor betydning for bjergartens oprindelse.

E_{Nd}: Udtrykker forskellen mellem isotoperne ^{143}Nd og ^{144}Nd i bjergarten og den tilsvarende værdi for CHUR på bjergartens krystallisationstidspunkt. CHUR betyder Chondritic Uniform Reservoir, og dette bygger på, at Jordens Nd har udviklet sig i et homogent reservoir, hvis Sm/Nd forhold (Sm = samarium) svarer til det, der findes i chondritiske meteoriter.

En positiv E-værdi afspejler, at bjergarten er afledt fra restbjergarter i reservoiret, efter at et magma tidligere var blevet fjernet, således at den oprindelige sammensætning allerede var ændret en gang.

En negativ E-værdi udtrykker, at bjergarten er afledt fra kilder med lavere Sm/Nd-forhold end CHUR. Det vil sige, at bjergarten må være mere eller mindre blandet med ældre bjergarter fra jordskorpen eller direkte afledt herfra.

Når E = 0, er Nd-isotopsammensætningen magen til CHUR, og bjergarten må være afledt direkte herfra. Når det i teksten er nævnt, at kappen i Proterozoikum havde en E_{Nd}-værdi på ca. 4, så hænger det sammen med, at kappen tidligere havde udskilt magmaer, som var blevet fjernet, hvorved E-værdien blev ændret.

På grundlag af de aldersbestemmelser, som er givet i tabel 1, regner man nu med en omtrentlig alder på 1750 millioner år for de Ketilidiske graniter. Bjergarter, som er dannet i Jordens kappe for 1750 millioner år siden, har en E_{Nd}-værdi på mellem 4 og 5. Skorpebjergarter af arkæisk alder har E_{Nd}-værdier på mellem –9 og –13. Endelig har arkæiske bjergarter fra Jordens kappe Y_1-værdier på 7,5–8 og proterozoiske kappebjergarter har Y_1-værdier på omtrent 8. Y_1-værdien aftager med tiden.

Graniterne i Grænsezonen (1–3) afviger fra graniterne syd herfor (4–6) ved at have lavere Y_1-værdier og negative E_{Nd}-værdier. Sammenholder man disse resultater med de beregnede E_{Nd}- og Y_1-værdier for henholdsvis skorpe og kappe for 1750 millioner år siden (se box), kan man udlede følgende:

Figur 1. Den Minoiske pimpstens-sekvens i et forladt brud lige syd for byen Fira. Profilet er ca. 20 m højt. Enhed A nederst er omkring 4 m tyk, og tilsvarende er den mørke enhed D i toppen også ca. 4 m tyk.

I dag har geologerne kunnet følge de Minoiske pimpstens-lag ud på de omliggende øer, på bunden af Ægæerhavet og det østlige Middelhav, i søer i Tyrkiet og så langt som til Nil-deltaet i Ægypten. Selv i den Grønlandske indlandsis har udbruddet kunnet identificeres som en markant sur horisont. Den regionale udbredelse af asken er en dramatisk illustration af den enorme indvirkning, som udbruddet på Santorini, med dannelsen af en af verdens største calderaer, må have haft på datidens verden.

Der er næppe heller tvivl om, at katastrofen har gjort et uudsletteligt indtryk på datidens mennesker. Så voldsomt, at vi meget sandsynligt genfinder reelle iagttagelser fra selve udbruddet som elementer i nogle af det gamle testamentes mere dramatiske skildringer, som f.eks. de tre dages mørke, der muliggjorde Israelitternes udvandring fra Ægypten. Som bekendt kunne dette netop lade sig gøre ved at man orienterede sig efter en røgsøjle, der om natten forvandledes til en søjle af ild. Mere direkte indgår denne naturkatastrofe dog nok i sagnet om det forsvundne Atlantis, hvor Platon skriver: 'Det rige og blomstrende Atlantis ødelagdes i løbet af en eneste rædselsnat og -dag, hvor øen ramtes af

Europas største vulkanudbrud

af Erik Schou Jensen og Eckart Håkansson

Som lovet i sidste nummer af Varv vender vi tilbage til Santorini for at beskæftige os lidt nøjere med de vulkanske hændelser, der førte til dannelse af det såkaldte Minoiske pimpstens-lag. At processerne knyttet til netop dette markante hvide pimpstens-lag måske spillede en afgørende rolle for hele den Minoiske kulturs sammenbrud sandsynliggøres af en kombination af geologiske og arkæologiske data.

Men lad os skrue tiden tilbage til midten af broncealderen, hvor det Minoiske Kreta var det alt dominerende centrum i det østlige Middelhav. Fra paladserne i Knossos og Mallia på nordkysten af Kreta, og fra Faistos med havnebyen Kommos på det sydlige Kreta udgik den Minoiske kulturpåvirkning i kølvandet på en blomstrende handel i alle retninger i datidens verden. Minoernes forpost til den græske verden var byen Akrotiri på øen Stronghyle, det nuværende Santorini eller Thera, som er den sydligste af øerne i Kykladerne. Som vi jo ved, havde Stronghyle en fortid som tidvis særdeles aktiv vulkan, og den blomstrende handelsby på øens sydkyst, blev for godt 3600 år siden ødelagt og begravet i metertykke askelag i forbindelse med den række voldsomme vulkanudbrud, der ændrede øens oprindelige udseende til den ringformede øgruppe, vi kender i dag (se nærmere i Varv 1991-2). Vulkanudbruddets styrke kan sammenlignes med Krakatau's udbrud i Sundastrædet mellem Java og Sumatra i august 1883, et udbrud som også frembragte en ca. 300 m dyb central caldera-indsynkning, der hvor selve vulkanen stod ved udbruddets begyndelse. Akrotiri blev glemt og aldrig genopbygget og Thera lå tilsyneladende ubeboet hen i århundreder efter udbruddet.

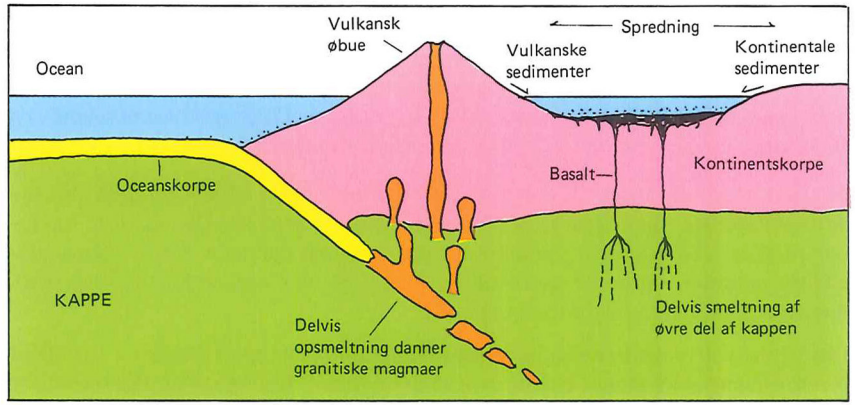
Indirekte var det bygningen af Suezkanalen i 1859-69, der førte til genopdagelsen af den Minoiske kultur på Santorini (de italienske korsfareres navn for øgruppen, efter den hellige Irene). Man havde nemlig opdaget at de tykke pimpstens-afsætninger på den nordøstligste af øerne, Therasia, var eminente til at blande i beton når man skulle støbe under vand. De første Minoiske fund blev gjort af en lokal læge, Nomikos, og den herved opståede interesse for Santorini's udviklingshistorie førte til, at den franske geolog Ferdinand André Fouque undersøgte og beskrev de mange vulkanske lag i calderavæggen.

Graniterne syd for Grænsezonen må være steget op fra Jordens kappe uden nævneværdig blanding med arkæisk kontinentalskorpe. Men arkæisk materiale har der alligevel været, idet en ren smelte fra Jordens kappe på daværende tidspunkt ville have haft en E_{Nd}-værdi på omtrent 4. Når den er 0, må det skyldes opblanding med 5–17% arkæisk materiale, der i omlejret form indgik i de tidlig Proterozoiske sedimenter.

Graniterne i Grænsezonen er indbyrdes forskellige, idet Kærnegraniten – med den laveste E_{Nd}-værdi – må bestå af opsmeltet arkæisk gnejs opblandet med en mindre mængde smelte fra kappen. Quiartorfik graniten består primært af kappeafledt smelte og opsmeltet arkæisk gnejs. Storø graniten – med den højeste E_{Nd}-værdi af de tre graniter – består primært af kappeafledt smelte samt lidt opsmeltet arkæisk gnejs.

Den Ketilidiske Bjergkæde i tektonisk sammenhæng

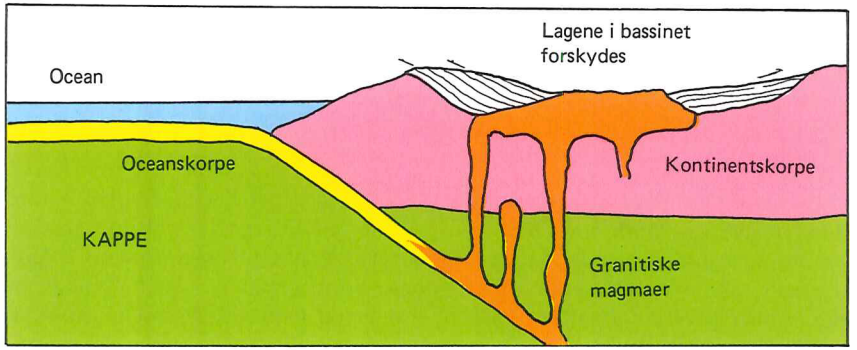
I det følgende omtales udviklingen i den vestlige del af Den Ketilidiske Bjergkæde. Fremstillingen bygger i det væsentligste på figurerne 3, 4 og 5, samt på tilgængelige data fra området.



Figur 3. Principskitse for den tidlige udvikling i en subduktionszone. Oceanskorpen presses ned under kontinentskorpen, hvor den smelter og stiger op.

I den ældste del af Proterozoikum blev det arkæiske kontinent i Centralgrønland udsat for nedbrydning ved forvitring og erosion. Det nedbrudte materiale blev skyllet ud i bassiner i Grænseland og Midternæs (to mindre områder øst og nordøst for Ivigtut) samt i oceanet sydøst for Ivigtut, hvor det blandt andet gav anledning til aflejring af de overfladebjergarter, der nu findes omkring Tasermiut, se fig. 5.

Mod slutningen af ældre Proterozoikum begyndte havbunden under oceanet at blive skubbet ned under kontinentet, og herved dannedes en vulkansk øbue. Bag denne opstod et bassin (se fig. 3), hvor store mængder pillow-lava strøm-



Figur 4. Principskitse for den sene udvikling i en subduktionszone. Der intruderes fortsat magmaer i skorpen, som nu er blevet tykkere. Sedimentsekvenserne fra bassinet bag øbuen løftes op og forskydes til siderne.

mede ud fra undersøiske vulkaner. Vulkanerne i den nydannede øbue udspyede store mængder aske og grovere vulkansk materiale, som dels opbyggede øbuen og dels transporteredes ud i bassinet bag – og ud i oceanet foran øbuen.

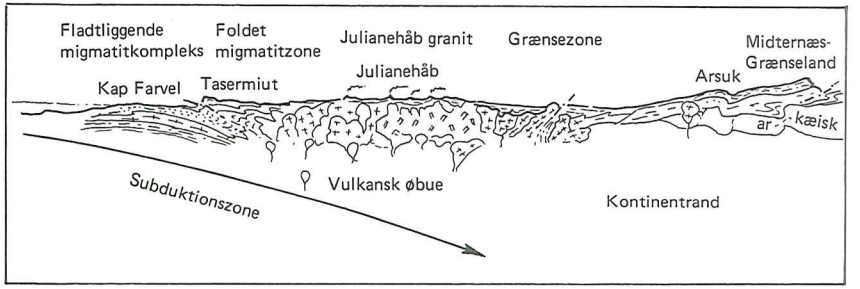
I bassinet aflejredes samtidigt sedimenter bestående af materiale, der blev skyllet ud fra det arkæiske kontinent. Den herved dannede lagserie af sedimentære bjergarter og vulkanske bjergarter ses i dag i Sortis Gruppen i Grænseland- og Midternæs-områderne og i Arsuk Gruppen i Arsuk Ø-området.

Skorpen under oceanet blev fortsat skubbet ned under øbuen og dybt ind under kontinentet, hvor den smeltede og forårsagede fremtrængen af store mængder magma med granitisk sammensætning. I øbuen dannede dette magma Julianehåb graniten og andre granitoider. Magmaet blev opblandet med lidt sedimentært materiale af oprindelig arkæisk alder.

Intrusionen af graniterne ledsagedes af sammenpresning af lagserien i oceanet foran øbuen og i bassinet bag øbuen, så de sedimentære og vulkanske bjergarter fik den position, de har i dag i Midternæs-, Grænseland- og Arsuk Ø-områderne samt ved Tarsermiut, se fig. 5. Til de tre førstnævnte områder tænkes bjergarterne skubbet frem langs overskydninger.

Arsuk Gruppen på Arsuk Ø og Sortis Gruppen i Grænseland og Midternæs kan således tolkes som ofiolitiske sekvenser, det vil sige en bestemt serie af bjergarter, som man med sikkerhed ved udgjorde havbunden over en zone, hvor der trænger magma op fra kappen. Når man så finder disse serier ovenpå en tyk kontinental skorpe, som det nu er tilfældet, kan de ikke være dannet på stedet, men må være blevet skubbet op fra havbunden i forbindelse med en op- og overskydning af oceanskorpen, der dannedes i bassinet bag øbuen.

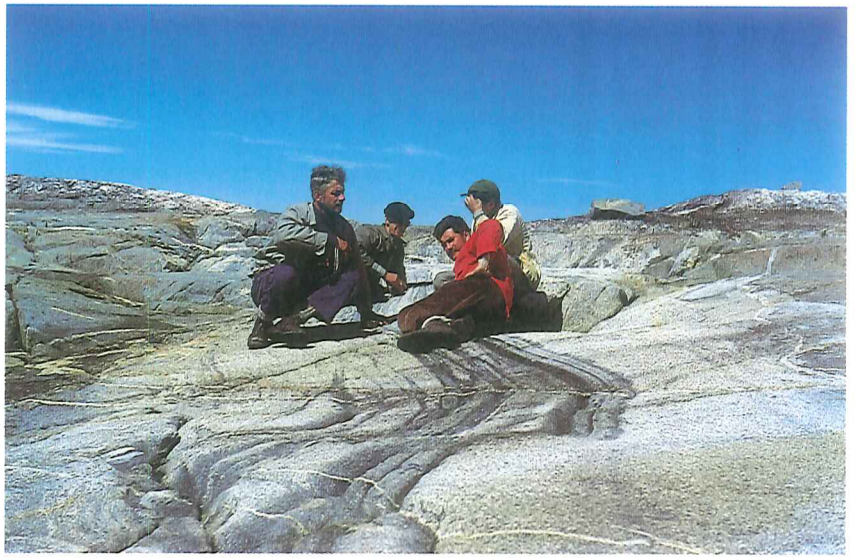
Intrusionen af det granitiske magma medførte en oceanværts tilvækst i skorpen



Figur 5. Udviklingen i det Ketilidiske område i Sydvestgrønland. Sammenlign med figur 4.

syd for det Arkæiske Kraton, og magma-masserne steg op fra Jordens kappe nord for øbuen. I den nordlige grænsezone intruderedes graniter, hvor det kappeafledte magma blev mere eller mindre opblandet med arkæisk sedimentært materiale, der sammen med oceanskorpen var blevet presset ned under kontinentet, se figur 4 og 5.

Undersøgelserne af isotopforholdene i de Ketilidiske graniter viser, at bjergarterne har en oprindelse, som man ikke umiddelbart kan spore ved kortlægning i felten, hvor graniterne ser ret ens ud. Forskellene mellem dem afsløres først, når man laver isotopundersøgelser i laboratoriet. Isotoperne har efterladt 'fingeraftryk' og afslører derved pladetektoniske begivenheder for millioner af år siden, begivenheder, som det ellers ikke ville være muligt at eftervise.



Figur 6. Lagdeling i Julianehåb graniten. Foto: D. Bridgwater.