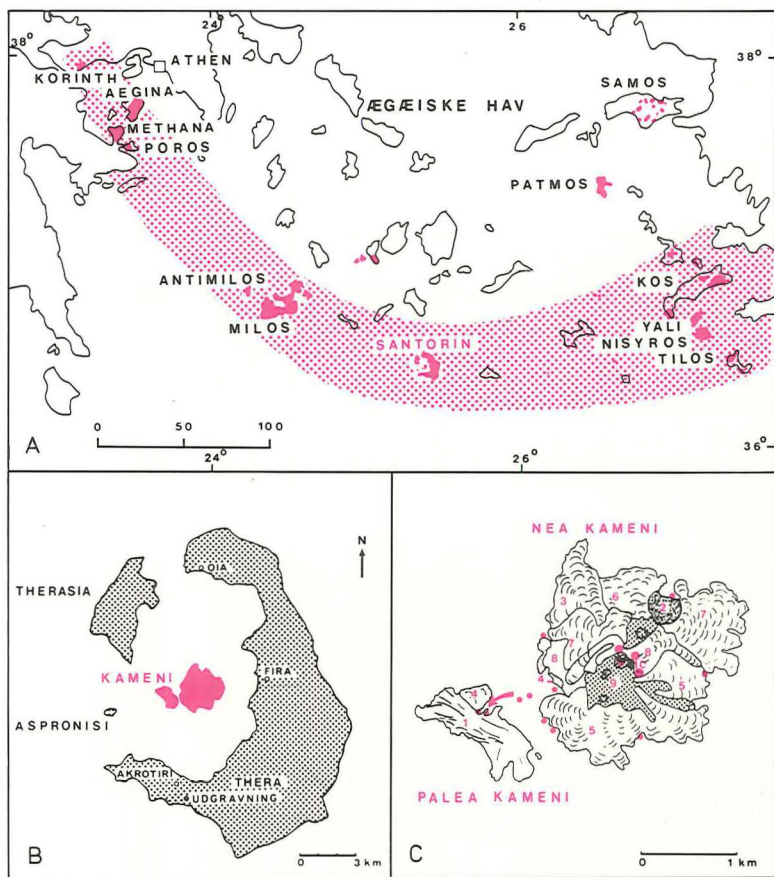


Jern fra Havet

af Rud Friberg og Walter L. Friedrich



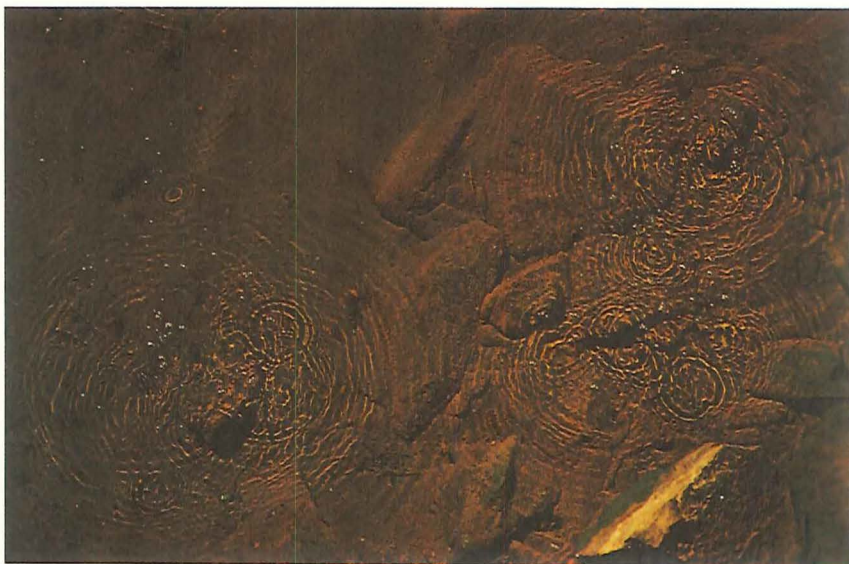
Figur 1. A: Beliggenheden af Santorin og Kyklade øbuen. Yngre vulkanområder er gengivet i rødt. B: Santorin vulkankomplekset med ringøerne Thera, Therasia og Aspronisi, som er næsten fuldstændig dækkede af pimpstenslag fra det sen-minoiske udbrud omkring 1500 f. Kr. De nyere Kameni øer (røde) ligger midt i kalderaen. C: Detailkort over Kameni øerne. Tallene angiver den tidsmæssige rækkefølge af de enkelte lavastrømme, der hidrører fra hver sit udbrud. De større røde cirkler viser, hvor der nu finder gasudstrømning sted (fumaroler). De mindre røde cirkler betegner områder med underøisk jernudfældning. Pilen peger ind i jernbugten.

En række af verdens jernforekomster udgøres af sedimentære malme, der optræder sammen med vulkanske aflejringer.

Et af de få steder i verden, hvor man uden større apparatur kan studere en i-gangværende malmdannelse på havbunden, er ved Santorin vulkanen i Ægæerhavet. Her er der mulighed for at få indblik i nogle af de fossile jernmalmedannelsesmekanismer.

Santorin er beliggende i Kyklade øbuen ca. 120 km nord for Kreta (fig. 1 A). Øbuen er dannet over en zone i lithosfæren, hvor dele af den afrikanske plade bøjes ned under den europæisk-asiatiske plade.

Santorin er for tiden den eneste aktive vulkan i Kykladerne, men den er i øjeblikket i en hvilefase. Vulkanens oprindelse kan spores til begyndelsen af Pleistocæn. Den er især blevet kendt på grund af et katastrofalt udbrud o. 1500 f. Kr., hvor et blomstrende sen-minoisk samfund gik til grunde under et op til 60 m tykt lag af pimpstensaflerjinger. Minoernes beboelser repræsenterer et af de tidlige kulturelle højdepunkter i Middelhavet og er for tiden under udgravning. De fantastiske arkæologiske fund, som hidtil er gjort, tyder på et bronzealder-sidestykke til Pompei, der i øvrigt selv gik til grunde under et Vesuvudbrud godt 1400 år senere, nemlig i år 79 e. Kr.



Figur 2. Opstigende gasbobler fra bunden af jernbugten på Palea Kameni.

Det såkaldte minoiske udbrud medførte, at hele den centrale del af den oprindeligt cirkulære vulkanø styrtede sammen og sank ned i det delvist tømte magmakammer (kalderadannelse). På Santorin er havet trængt ind i kalderaen, hvis areal er 85 km². Tilbage blev kun en krans af mindre øer Thera, Therasia og Aspronisi. I de sidste 2000 år har gentagne mindre udbrud midt i kalderaen ført til dannelsen af to øer, Palea Kameni og Nea Kameni (fig. 1 B og C).

De første skriftlige beretninger om vulkansk aktivitet i den centrale del af kalderaen har man fra årene efter 197 f. Kr., hvor øen Palea Kameni opstod. Det hidtil seneste udbrud fandt sted på Nea Kameni i 1950. I dag er udstømning af varm gas (kuldioxid, svovldioxid, vanddamp m.m.) fra fumaroler og submarine hydrotermale kilder på øerne og i havet omkring dem det eneste tegn på fortsat vulkansk aktivitet (fig. 1 C). Trods vulkanens nuværende fredelige fremtræden kan det ikke udelukkes, at den når som helst kan gå over i en fase med fornyet aktivitet.

Fra kalderaranden, der hæver sig ca. 200 m over havet, har man en pragtfuld udsigt over hele vulkanstrukturen med Nea Kamenis skjoldformede kontur i midten (figur 3). Vet et besøg på Nea Kameni når man efter en klatretur op over de yngste lavastømmes brogede brokker og slagger frem til fumarolerne ved det yngste krater. De varme gasser, som her strømmer ud, består blandt andet af svovldioxid, der har en stærkt stikkende lugt. Fumarolefelterne er gulfarvede af svovlkrystaller.



Figur 3. Kalderaen set fra luften. I forgrunden Nea Kameni og den mindre Palea Kameni. I baggrunden den sydvestligste del af Thera.

Gasudstrømning finder ikke blot sted her, men også på havbunden umiddelbart omkring Kameni øerne (fig. 1 C). Havbunden er rustfarvet, og vandet er mærkbart varmere, og på vindstille dage kan man iagttage rækker af opstigende bobler. Ved nordsiden af Palea Kameni ligger en bugt, hvor disse forhold er særlig iøjnefaldende (fig. 1 C og forsiden). Havbunden i bugten er dækket af et ca. 60 cm tykt mudderlag, som er rustfarvet i den øvre del. Overalt ses bobler stige op gennem det mere end 30° varme vand i denne "jernbugt" (fig. 2). Stedet besøges jævnligt af turister, der ynder at sætte sig i det lune jernholdige slam. Men stedet er iøvrigt også velbesøgt af geologer, der er her for at studere malmdannende processer i et marint miljø. Nyere undersøgelser viser, at de opstigende varme og aggressive gasarter udluder især jern fra sidebjergarterne og bringer det op til havbunden, hvor det reagerer med havvandets ilt og bundfældes som amorft jern (III) hydroxid. Ved særlig kuldioxid-rige udstrømninger, som i jernbugten, dannes tillige væsentlige mængder jernkarbonat (siderit). Jernudfældningen sker i samspil med jernbakterier af arten *Gallionella ferruginea*. Indtil fornylig kendtes jernudfældning fremkaldt af *Gallionella ferruginea* kun fra ferskvand, men nye analyser og eksperimenter i jernbugten påviser, at *Gallionella* også forekommer der.

Den omtalte jernbakterie har de bedste livsbetingelser ved ret lave iltkoncentrationer, en moderat surhedsgrad og relativt store koncentrationer af bikarbonat. Muddret i jernbugten er en lille smule surere. Mens de øvre lag er ret neutrale er der reducerende forhold i de dybere dele. Graver man ca. 20 cm ned, ser man, at muddret skifter farve fra rødbrunt til grønlig sort. Farveskiftet hænger sammen med, at det amorfe jern (III) hydroxid er reduceret og krystalliseret, så jernet nu optræder i mineralerne goethit, jern (II)-karbonat (siderit) og pyrit (svovlkis). Pyritten danner mikroskopiske hindbærlignende aggregater, såkaldt framboidal pyrit. En nøjere undersøgelse viser, at muddret desuden indeholder kiselalger, diatomeer, svampespikler samt omlejret vulkansk materiale (pimpsten, aske, vulkansk glas, andesitfragmenter m.m.). På grundlag af prøver fra havbunden forskellige steder er det vist, at jernsedimentation finder sted i hele kalderaen og ikke kun på de ovennævnte steder, men derimod aflejres der ikke jern uden for kalderaen. De jernholdige lag er enkelte steder op til 3 m tykke, og beregninger viser, at der i de sidste 550 år er aflejret ialt 300.000 t jern og 19.000 t mangan. Visse steder er desuden afsat bly, zink og fosfor. Vanadium, krom, nikkel, cobolt og kobber optræder som sporelementer i ekstremt lave koncentrationer. Tilsvarende forhold kendes fra de gamle malmforekomster, der formodes at være dannet under lignende omstændigheder.

Jernsedimentationen i kalderaen er nøglen til forståelsen af en række fossile malmforekomster. Omvendt kan disse benyttes til vurdering af jernslammets fremtidsmuligheder. Hvis sedimentationen fortsætter i et længere tidsrum, og hvis erosion ikke finder sted, vil resultatet blive en båndet jernaflejring, der efter lettere omdannelse gennem tiden bliver til brydeværdig malm.