

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 bronzealderen, 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.



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.

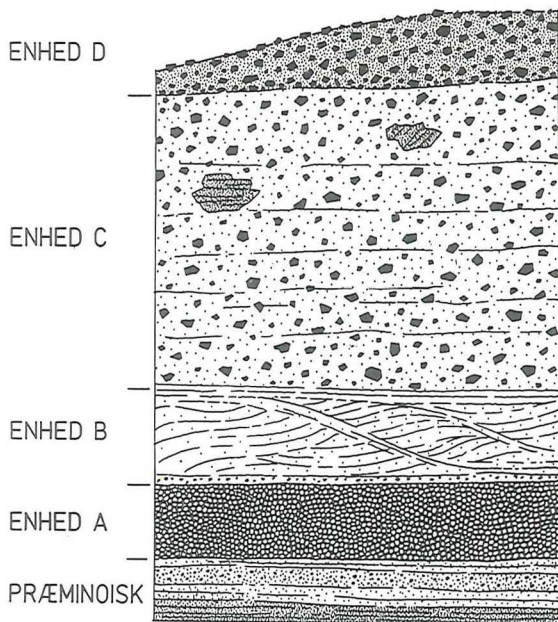
Der er næppe heller tvivl om, at katastrofen har gjort et udsletteligt indtryk på datidens mennesker. Så voldsomt, at vi meget sandsynligt genfinder reelle iagttagelser fra selve udbruddet som elementer i nogle af det gamle testaments mere dramatiske skildringer, som f.eks. de tre dages mørke, der muliggjorde Israelliternes udvandring fra Ægypten. Som bekendt kunne dette netop lade sig gøre ved at man orienterede sig efter en røgsøjle, der om natten forvandlede sig 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

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.



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. I alt 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.

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-asse i såkaldte 'antidunes', der er typiske højhastigheds-strukturer, hvor materialet ophobes på *fronstiden* af de lavvinklede klitdannelse. Fænomenet base surge, der oprindeligt 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.



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 vejs og spredtes sammen med pimpstens-asse 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-



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.

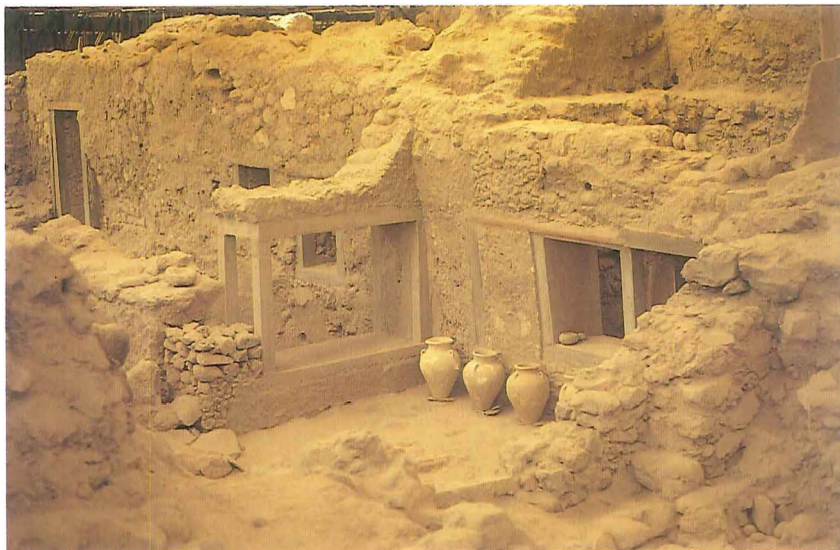
Den totale mangel på lagdeling eller gennemgående horisonter i enhed C viser, at afsætningen er foregået under mere eller mindre kontinuerede eksplosioner uden længere pauser, hvor pimpstens-støvet har kunnet falde til ro. Tilstedeværelsen af 20-30 m store sprængstykker i selv de øverste dele af afsætningen 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

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 gruppvækkende 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).

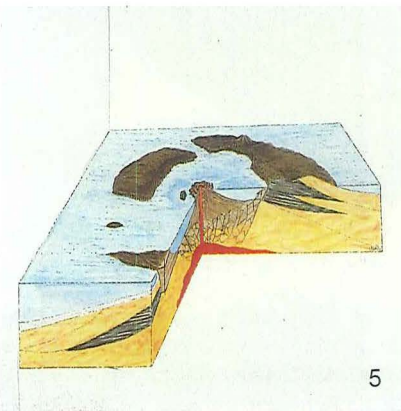
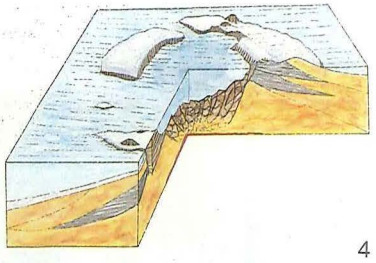
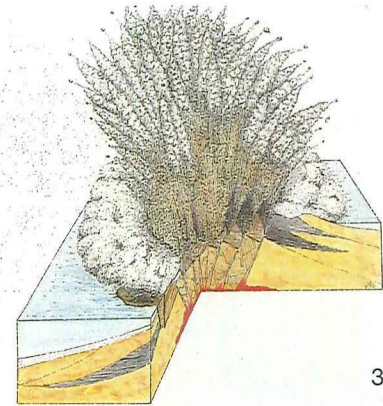
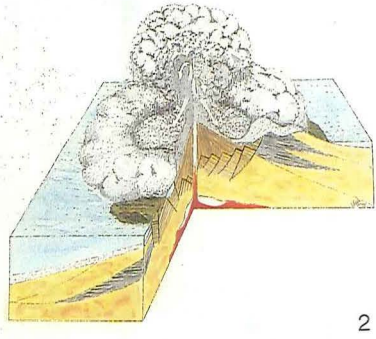
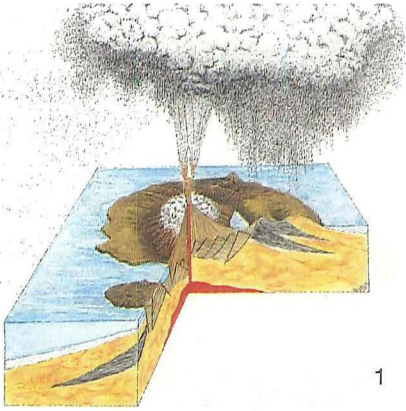
tænkes at danne baggrund for sagnet om Israelitternes tørskoede vandring over Det Røde Hav, og de forfølgende Ægypteres frygtelige endeligt i vandmasserne umiddelbart efter.

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 aflejnings-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 kolliderer 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 dampekspllosioner, 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.*



Akvarellerne er udført af Laila Berthelsen.