

OCEANØER LEVERER OPLYSNINGER FRA DEN NEDRE KAPPE: SANTO ANTÃO, KAP VERDEØERNES HOTSPOT

Paul Martin Holm

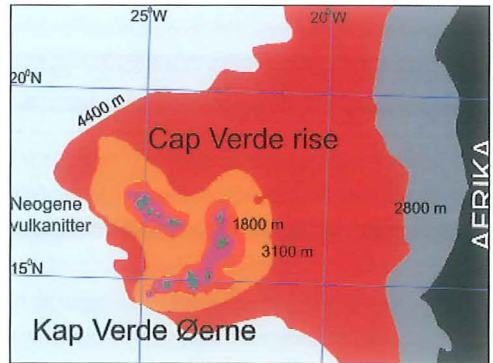
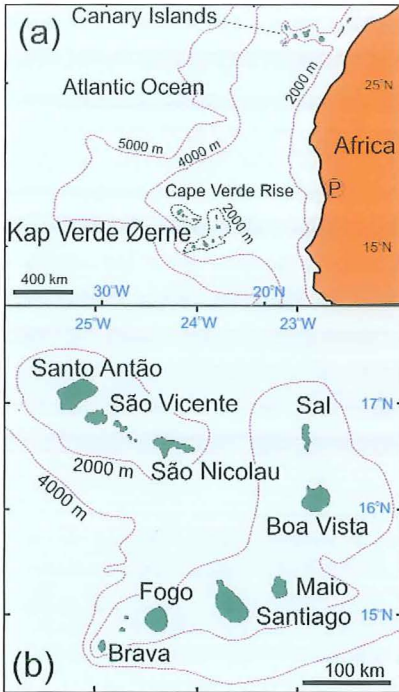
Vulkanisme på Jorden er knyttet til tre typer geologiske miljøer, dels lithosfærepladernes randområder – midtoceanryggene og subduktionszonerne og dels områder inde på pladerne – de såkaldte hotspots, hvoraf der findes ca. fyrre. I forbindelse med disse hotspots hersker der særlige betingelser for magmadannelse i Jordens kappe: den er enten særlig varm eller har en særlig sammensætning. Kappen er den primære kilde til magma, idet der dannes magma, når kappen smelter delvist op.

Den yderste del af Jorden - lithosfæren - der består af skorpen samt den del af kappen, som sammen med skorpen afkøles ved, at varme strømmer ud gennem den ved ledning (konduktion). I den underliggende asthenosfære, som er langt blødere end lithosfæren, domineres varmestrømningen af, at varmere materiale stiger op og koldere ned (konvektion). Smeltepunktet for kappen øges med stigende tryk. Ved de høje tryk under lithosfærepladerne er asthenosfæren normalt for kold (omkring 1.300°C) til at danne smelter: Vulkanisme er resultatet, når magma strømmer op til Jordens overflade, og forekommer ikke på pladerne.

Blandt kendte undtagelser fra reglen om fravær af vulkanisme inde på pladerne er de to hotspots Hawaiiøerne og De kanariske Øer; mindre kendt er hotspottet i Eifel i Sydtykland, som omfattede stærkt eksplosiv vulkanisme for ikke mere end 11.000 år siden. Studier af hotspotvulkanisme afdækker nogle af de mest storladne processer i de dybere dele af Jorden. Det kan dog også blive aktuelt at forstå processerne, når en vulkan dukker op i baghaven.

Kap Verdeøerne, som ligger 500-800 kilometer vest for Afrika og ca. 1.500 kilometer sydsydvest for De kanariske Øer (figur 1a) er også et hotspot. Her har et hold af geologer og studerende fra universiteterne i København og Århus gennem 10 år studeret den vulkanske udvikling med henblik på at forstå årsagen til hotspotdannelsen og oprindelsen af de magmadannende bjergarter i kappen. Her fortælles om nogle af de resultater, som er opnået ved studiet af en af øerne.

Republica de Cabo Verde med ca. 400.000 indbyggere blev uafhængig af Portugal i 1975 og består af 10 større øer på i alt 4.033 kvadratkilometer, hvor Santo Antão (figur 1b) er den næststørste med et areal på 770 kvadratkilometer. Klimaet er tropisk og meget tørt, men den konstante nordøstenvind gør ophold behageligt. Øerne er næsten udelukkende vulkanske og dannet gennem de seneste 20 millioner år.



Figur 2. ▲
 The Cape Verde Rise er havbund hævet 2 kilometer over den omgivende havbund. Denne hævn-
 ing skyldes bl.a. udvidelse af lithosfæren som
 følge af opvarmning fra en opstigende diapir af
 særlig varm kappe.

◀ Figur 1.

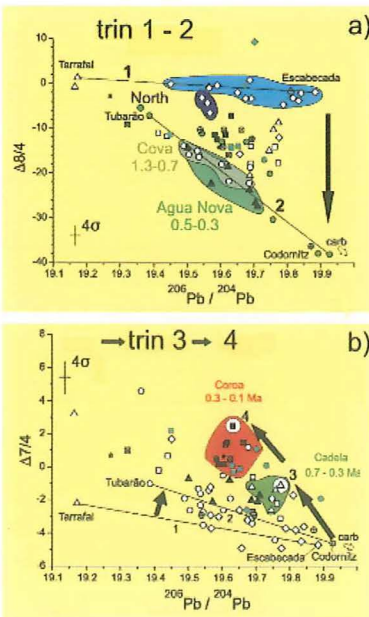
(a) Kap Verdeøernes beliggenhed vest for Afrika.
 (b) Santo Antão er den næststørste og nord-
 vestligste af de 10 større øer i øgruppen.

Kap Verdeøerne er et særligt hotspot, idet Den afrikanske Plade ligger så godt som stille. Pladen bevæger sig med kun 2 millimeter/år under Santo Antão. Hotspots er ofte omgivet af et område med hævet havbund. Dette gælder i udpræget grad Kap Verde. The Cape Verde Rise er et område på mere end 300.000 kvadratkilometer, hvor havbunden er hævet 2 kilometer over den omkringliggende (figur 2). Denne hævn-
 ing skyldes tilstedeværelsen af ekstra varm kappe under lithosfæren. Denne kappe har gennem 20 millioner år opvarmet bunden af lithosfæren, som derved har udvidet sig og fået en mindre massefylde. Dette har medført, at den ligger højere på asthenosfæren – ligesom kontinentale områder med bjergarter med relativ lav massefylde ligger højt i forhold til havbunden af basaltiske bjergarter med relativ høj massefylde. Med vulkanøerne beliggende på det hævede område er der tale om et klassisk hotspotmiljø, hvor ekstra varm kappe danner smelter under lithosfæren.

Der er imidlertid to fænomener, der ikke er almindelige: Beregninger har vist, at den meget store havbundshævning ikke alene kan forklares ved denne opvarmning, og Kap Verdeøerne ligger ikke centreret på The Cape Verde Rise.

Gennem feltarbejde på Santo Antão især i årene 1996-2000 er den vulkanske udvikling blevet afdækket. De geologiske relationer mellem lavastrømme og eksplosionsprodukter samt datering af udvalgte bjergarter har vist, at øen er opbygget i perioden

fra 7,5 millioner år før nu til for ca. 100.000 år siden. Analyser af sammensætningen af de vulkanske bjergarter har vist, at de alle er dannet fra meget siliciumfattige magmaer. Der er således ikke en eneste basalt på øen, som ellers er den altdominerende vulkanske bjergart i oceanskorpen. I den tidlige del af perioden var det især basanitter (stærkt alkaline siliciumfattige basaltiske bjergarter), der dominerede, medens det er nephelinitter (bjergarter der er så fattige på silicium, at de næsten ikke fører feldspat, og i stedet er rige på de komponenter, der danner nephelin) blandt de yngre. Den variation i den overordnede kemiske sammensætning som giver sig udslag i navngivningen af bjergarterne, ledsages af mere subtile forskelle i hyppighederne af sporgrundstoffer og i isotopsammensætningen af visse grundstoffer, såsom bly (Pb), strontium (Sr) og neodymium (Nd). Alle disse forskelle sammenholdt med kendskabet til den tidsmæssige udvikling har givet et usædvanlig detaljeret indblik i de systematiske skift i sammensætningen af de producerede smelter. Dette kan illustreres i diagrammer, som de der vises i figur 3.



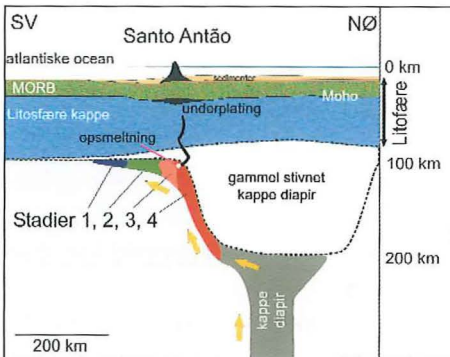
Figur 3. (a) $D\ 8/4$ mod $206Pb/204Pb$ og (b) $D\ 7/4$ mod $206Pb/204Pb$. I diagrammerne illustreres hvorledes kappematerialer af fire forskellige sammensætninger (Trin 1-4) med tiden afløser hinanden som kilder til Santo Antãos vulkaniter. Sammensætningerne af bjergarterne på Trin 1 og Trin 2 består af blandinger af hhv. endeledene 'Escabecada' og 'Tarrafal' samt 'Codornitz' og 'Tuburão'. $D\ 7/4$ og $D\ 8/4$ er udtryk for afvigelsen af isotopforholdene $207Pb/204Pb$ henholdsvis $208Pb/204Pb$ fra en referencelinie for mange basalter.

Afbildningen af isotopsammensætningen af Pb behøver ikke en teknisk forklaring. Det fremgår, at de ældste bjergarter fra det vestlige og centrale af Santo Antão ligger øverst til højre i diagrammet i figur 3a. De individuelle bjergarter kan forklares som i det væsentligste blandinger af variable andele af to endeled, 'Escabecada' og 'Tarrafal'. Dette har vi kaldt Trin 1 i udviklingen. De lidt yngre af de ældste vulkaniter, de nordlige, begynder at få lidt afvigende sammensætning (figur 3a) og i løbet af udviklingen under den mellemste periode af vulkanisme på øen skifter isotopsammensætningen af Pb markant. Afslutningen af den udvikling udgøres bl.a. af Cova og Agua Nova-grupperne af vulkaniter fra mellemprioroden, der kan beskrives som blandinger af to andre endeled, 'Codornitz' og 'Tuburão' (figur

3a). Dermed var Trin 2 nået. Den efterfølgende udvikling i yderligere to trin illustreres i en anden type af diagram for Pb-isotopsammensætningen (figur 3b). Trin 3 omfatter introduktionen af et nyt endeled, 'Cadela', som også karakteriseres af en særlig berigelse på visse grundstoffer (ikke vist her), og i Trin 4 domineres sammensætningerne af endeleddet 'Coroa'.

Sammenlignes endeleddenes sammensætninger med hvad man finder på andre oceanøer og i bjergarter på Jorden generelt, bliver det klart, hvordan sådanne isotopsammensætninger skabes. Hvert af de fire udviklingsstadier af Santo Antão smelter må forklares med, at de er dannet fra kappematerialer, der har haft en forskellig kemi gennem hundreder af millioner år eller som for Coroa's vedkommende flere milliarder år. Disse områder i kappen med forskellig kemi må have eksisteret isoleret i al den tid. Vi har foreslået, at områderne omfatter materiale, som tidligere har været en del af den oceaniske lithosfære, som blev subduceret og sank ned i den nedre kappe. Derfra steg det op, da det blev varmere end den omgivende nedre kappe. Opsmeltingen begyndte for ca. 8 millioner år siden under Santo Antão og fortsætter den dag i dag.

Da lithosfæren ligger stille, forklares den tidsmæssige variation i sammensætningen af smelterne (trin 1-4) med, at det er forskellige kappesammensætninger, der strømmer forbi under Santo Antão (figur 4).



Figur 4. Model for hvordan kappediapiromateriale af fire forskellige sammensætninger afbøjes af en stivnet diapir og strømmer forbi under Santo Antão.

Opstigende kappematerialer menes at kunne undgå blanding (under laminar strømning). Derfor kunne der være tale om, at en række forskellige materialer ankommer under Santo Antão i en rækkefølge, der afspejler deres tidligere relative position - måske på bunden af den nedre kappe. Det foreslås endvidere at der er tale om en opstigende diapir (masse med lavere massefylde end omgivelserne) af varmt kappemateriale, som er centreret under The Cape Verde Rise, og at denne strøm af opstigende kappemateriale afbøjes af resterne af tidligere opsteget materiale (figur 4).

Det er nemlig sådan, at så snart der afgives smelter fra kappen, bliver resten langt mere sej. På grund af den stationære lithosfære ophobes denne stivnede masse af varm kappe under The Cape Verde Rise, hvad der kan forklare den excentriske position af Kap Verdeøerne, og kan bidrage til forklaring af havbundshævningen.