

Magmaet karbonatit

reaktion med værtsbjergarter på Brava, Kap Verde

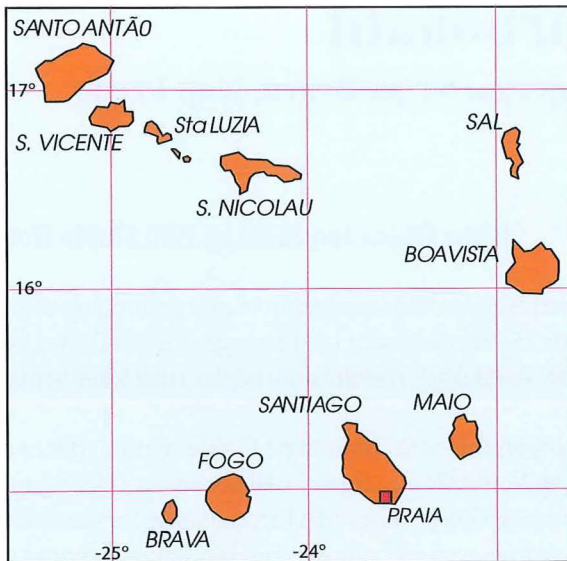
Jesper Øksne Jørgensen og Paul Martin Holm

En magmatisk bjergart med end 50% karbonatminerale (f.eks. dolomit og calcit) kaldes karbonatit. Der er godt 350 forekomster i verden, og af disse findes kun to i forbindelse med den oceaniske skorpe, resten er intruderet i den kontinentale skorpe.

I forbindelse med oceanskorpen findes karbonatit på Fuerteventura, der er en af de Kanariske Øer, og på Kap Verde Øerne (figur 1). Eksistensen af karbonatit i oceanskorpen viser, at kontinental skorpe ikke er en forudsætning for dannelsen af karbonatit. Den oceaniske skorpe er meget tyndere end kontinental skorpe og reaktion mellem magma og skorpe vil derfor have en ringe indflydelse på magmaets sammensætning, da magmaet kun kan reagere med skorpen i kort tid. De oceaniske karbonatitter giver derfor en mere direkte indsigt i dannelsen af denne type magma end de kontinentale forekomster.

Interessen for magmaers kemiske sammensætning, når de dannes i kappen, er af fundamental betydning for geovidenskaben. Når et magma dannes i kappen ved delvis opsmeltning af kappeminerale, vil magmaet have en anden kemisk sammensætning end kappen. Dette skyldes, at nogle grundstoffer passer dårligt ind i de eksisterende kappemineralers krystalgitter, hvorfor de hurtigere vil bevæge sig ud i smelten end de grundstoffer, der sidder fast bundet i krystalgitterne. Delvis opsmeltning af kappeminerale ændrer kappens sammensætning, idet smelten opkoncentrerer nogle grundstoffer. Smelten med de koncentrerede grundstoffer stiger derefter opad som følge af smeltens lavere massefylde, og de opkoncentrerede grundstoffer forsvinder således fra kappen. Denne proces har været aktiv i hele Jordens historie og har ændret dele af kappens sammensætning dramatisk. Studier af Jordens historie kræver derfor en indsigt i kappedannede magmaers sammensætning (den primære sammensætning) på forskellige tidspunkter.

Den mest direkte adgang til at studere magmaers primære sammensætning fås ved at se på magmaer, som er kommet hurtigt op på Jordens overflade og er størket der. Den hurtige opstigning minimerer processer knyttet til afkøling af smelten og dannelse af krystaller, som ændrer magmaets kemi. Samlet betyder det, at et sådant magma vil have omtrent samme kemiske sammensætning, når det når overfladen, som da det blev dannet i kappen ved delvis opsmeltning.



Figur 1. De 9 Kap Verde Øer har et areal på 1/10 del af Danmarks areal, og ligger ca. 500 kilometer vest for Senegal, Vestafrika.

Studier af karbonatit på Kap Verde er gunstige ved, at magmaet her er passeret gennem den relativt tynde oceaniske skorpe og derfor er meget tættere på den oprindelige sammensætning end karbonatitter, som er passeret gennem den langt tykkere kontinentale skorpe.

Dannelsen af karbonatit diskuteres i den ældre litteratur ved de mest eksotiske og forskelligartede processer. Da karbonatit er en uhyre sjælden bjergart, der udgør en forsvindende del af Jordens magmatiske bjergarter, har mængden af forskning været meget mindre end forskning i 'almindelige' magmatiske silikatbjergarter. Ikke desto mindre har dannelsen af karbonatit ført til en ophedet og vedvarende diskussion, der nu i høj grad er polariseret i to forskellige tanke-retninger. Nogle mener, at karbonatit er afledt af silikatsmelter. Andre foreslår, at karbonatit også opstår ved selvstændige smelteprocesser i Jordens kappe. Blandt moderne afhandlinger om karbonatitgenese (-dannelse) af individuelle forekomster findes overbevisende eksempler på begge typer dannelse, og resultatet bliver vel en konstatering af, at mere end én proces leder til karbonatit.

I første halvdel af det 20. århundrede studerede feltgeologer over besynderlige karbonatrige bjergarter, der i mange tilfælde havde tydelige magmatiske træk. Dengang gik forskningen i andre retninger, så teorier om karbonatiternes dannelse strandede i en konsensus om, at de var dannet ved delvis opsmeltning af skorpen. Debatten tog først en anden retning i 1960'erne, da verdens eneste aktive karbonatitvulkan, Oldoinyo Lengai i den østafrikanske riftzone, gik i udbrud og lod bomber, aske og glødende lava eruptere. Dette satte også ild i forskning og teorier.

Snart viste smelteforsøg, at silikat- og karbonatsmelter af typen, der erupterede fra Lengai, ikke blandes, når de dannes under lavt tryk. Det gav anledning til at postulere, at karbonatit dannes fra en silikatsmelte, der bevæger sig fra høje mod lave tryk i skorpen. Andre postulerede, at et karbonatrigt silikatmagma under en krystallisationsproces, hvor tidligt dannede mineraler fjernes fra smelten (fraktioneret krystallisation), herved kunne beriges på karbonater og andre grundstoffer, og at den fraktionerede krystallisation således var baggrund for dannelsen af karbonatit.

I dag er der geologer, der mener, at den særprægede karbonatit fra Oldoinyo Lengai er dannet ved fraktioneret krystallisation af en mere almindelig karbonatit, der kommer fra den nedre lithosfære. Uantastet udfaldet af Lengai diskussionen peger en voksende datamængde på, at karbonatit også dannes ved selvstændige smeltebegivenheder i kappen og den nedre lithosfære. Karbonatit på Kap Verde er dannet ved delvis opsmeltning i den øvre kappe.

Forekomstmåde

Karbonatit forekommer som lavaer og løse udbrudsprodukter, som gange eller oftere som en serie ringformede legemer (intrusioner). De plutoniske ringformede intrusioner varierer typisk mellem at bestå overvejende af mineralerne calcit (CaCO_3) eller dolomit ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$).

Meget karbonatit intruderer almindelige skorpebjergarter. Mange steder, hvor karbonatit forekommer, ses dog en række andre sjældne bjergarter, der menes at være dannet i forbindelse med karbonatitten. Disse bjergarter er f.eks. ijolit (bestående af mineralerne clinopyroxen og nefelin), glimmerit (hovedsageligt glimmermineralet phlogopit), nefelinsyenit (alkalifeldspat og nefelin), foskorit (serpentiniseret olivin, apatit og magnetit) og pyroxenit (clinopyroxen). I nogle tilfælde er der overbevisende dokumentation for en genetisk sammenhæng mellem karbonatit og de nævnte sjældne bjergarter. F. eks. menes nogle ijolitter og nefelinsyenitter i Sydafrika at være remobilisering af henholdsvis gabbro og granit fra den kendte Bushveld intrusion med introduktion af navnlig natrium fra karbonatitmagmaet. I dette tilfælde betyder det, at karbonatitten oprindeligt var mere natriumrig, men mistede dette grundstof ved reaktion med de bjergarter, den intruderede.

Omdannelsen af karbonatits værtsbjergarter går under den generelle betegnelse fenitisering efter typelokaliteten Fen i Norge, og er meget almindelig. Fenitisering er et interessant fænomen, fordi der i forbindelse med omdannelsen sker et tilskud af grundstoffer til værtsbjergarten. Grundstoffer der derved afgives og forsvinder fra karbonatitten. Karbonatit består ofte næsten udelukkende af kun ét mineral (calcit eller dolomit), fenit derimod er kemisk ekstremt variabel, selv hvor værtsbjergarten er den samme. Det betyder at variationen af grundstoffer, der

afgives fra karbonatitten er meget stor, og at den oprindelige karbonatits sammensætning varierer.

Den egentlige smeltesammensætning af karbonatit må derfor findes ved at erkende, hvilke kemiske komponenter der er afgivet ved reaktion med og omdannelse af værtsbjergarten og lægge disse til sammensætningen af den karbonatbjergart, man finder. Eksemplet fra Brava på Kap Verde Øerne, der beskrives nedenfor, illustrerer en reaktion, der hovedsagelig foregår ved tilskud af dolomittisk væske og vand.

Økonomisk interesse

Karbonatit og relaterede bjergarter - fenitter - kan være ekstremt berigede på grundstoffer, som har økonomisk interesse, navnlig fosfor, niobium og de sjældne jordarter. Uheldigvis for den Kap Verdiske regering er mængden af karbonatit på øerne og koncentrationerne af de nævnte grundstoffer såpas små, at karbonatit næppe er værd at bryde her.



Feltforhold

På de nordlige Kap Verde Øer findes karbonatit som 0,2-3 meter tykke gange, der skærer sig gennem det ufrugtbare og eroderede vulkanske landskab (figur 2). Gangene er oftest rene dolomitforekomster med mineraler som phlogopit, magnetit og pyroclor i mindre mængde. Overfladen af gangene forvitrer relativt nemt og giver gangen et brunt og støvet udseende, men slår man en skærv af, afslører materialet en frisk blålig farve.

Figur 2. En ca. 1,5 meter bred gang af dolomittisk karbonatit på øen Maio. Gangens overflade er forvitret til en rustbrun farve, men den afslæede flade viser, at bjergarten er helt frisk umiddelbart under forvitningsfladen.



Figur 3. En blotning af lava intruderet af karbonatit, der stedvist har reageret med lavaen og givet denne et spættet udseende.

Ofte ses de silikatlavaer, som karbonatitgangene intruderer, at være omdannet af fine karbonatitårer. Ligeledes er det almindeligt at se kvadratmeter store arealer af silikatbjergart, hvor karbonatit er trængt ind med voldsom kraft og har omdannet værtsbjergarten til et let pulveriserende materiale med calcitaggregater og sekundære mineraler (figur 3). Den meget tyndtflydende og højmobile karbonatitvæske strømmer gennem fine sprækker på vej til overfladen og eksploderer ud i den omkringliggende bjergart.

På de sydlige øer er større volumener karbonatit blottet i plutoniske komplekser, hvilket giver en mere veldefineret fenitisering. Figur 4 viser et stort intrusivt kompleks på den sydvestligste af de Kap Verdiske Øer, Brava. På billedet ses et aflangt irregulært linseformet parti, der mineralogisk er domineret af phlogopit. Værtsbjergarten er nefelinsyenit. Plutonisk karbonatit er blottet i den nedre del af komplekset. Den phlogopitrige linse er interessant ved, at den repræsenterer komponenter af karbonatitten, som ikke ses i gangene vist i figur 2 og 3.

Når man går rundt på blotningen, observerer man en gradvis overgang fra rene phlogopitpartier til nefelinsyenit. I mikroskop ses nefelinsyenitens alkalifeldspat at være under omdannelse, og ind imellem er der korn af phlogopit og calcit. Den meget phlogopitrige bjergart består af phlogopit, grøn amfibol, rekrystalliseret alkalifeldspat, calcit, titanit og apatit.



Figur 4. Phlogopitlinsens mørke farve danner en markant kontrast til den delvist omdannede silikatbjergarts næsten hvide farve.

Den gradvise overgang mellem de to bjergarter og eksistensen af phlogopit og karbonater i den delvist omdannede nefelinsyenit er feltdokumentation for intrusionen af karbonatitrelaterede opløsninger i en værtsbjergart domineret af silikatmineraller.

Fenitisering og dannelsen af phlogopitrige linser

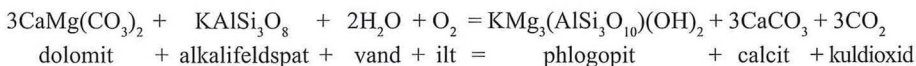
Under krystallisationen af karbonatit opkoncentreres vand samt grundstoffer, der ikke indgår i karbonatmineraller. Denne blanding af vand, karbonatitmelte og diverse grundstoffer er en overophedet og ustabil kombination af damp og væske, en fluid, der er meget mobil og stærkt reaktiv. Den varme fluid kan helt eller delvist opsmelte kontaktbjergarter, specielt hvis disse er krystalliseret ved relativt lave temperaturer.

Nefelinsyenit på Kap Verde er primært dannet ved størkning af smelter, der har gennemgået mfattende krystallisation og afkøling. De er således dannet ved de laveste magmatiske temperaturer (~600 til 800°C).

Introduktion af fluider fra karbonatitten menes her at have dannet de phlogopitrige linser ved at reagere med nefelinsyenitten. Nefelinsyenit, der ikke er omdannet, ses også på Brava og andre Kap Verde Øer og består hovedsageligt af

alkalifeldspat med lidt nefelin, amfibol og apatit. De phlogopittrige linser består af phlogopit, amfibol, apatit og calcit. Den kemiske forskel på de to bjergarter er bl.a., at nefelinsyenit er betydeligt fattigere på grundstofferne magnesium (Mg), calcium (Ca), jern (Fe), titan (Ti), fosfor (P) samt kuldioxid og vand og rigere på silicium (Si), aluminium (Al) og natrium (Na).

En simpel model til at forklare dannelsen af phlogopit er at lade smeltet dolomit reagere med alkalifeldspat:



I denne enkle reaktion er der kun behov for den karbonatittiske smelte og vand, men en mere detaljeret model kræves også, at fluiden afsætter jern, titan og fosfor og fjerner natrium, aluminium og silicium til udfældning af natriumfeldspat (albit) andetsteds.

Tilførsel af materiale medfører, at bjergartens volumen ekspanderer. Dannelsen af revner og sprækker ved bjergartens ekspansion sætter spørgsmål ved, hvorvidt den phlogopittrige bjergart i virkeligheden er en sprækkeudfyldning eller et omdannelsesprodukt af nefelinsyenitten. Den gradvise overgang mellem de to bjergarter samt optiske undersøgelser viser dog, at nefelinsyenittens alkalifeldspat er delvist omdannet og stedvist overvokset af phlogopit og amfibol, ligesom der er en smule karbonat.

Den nævnte gradvise overgang og eksistensen af de samme mineraler, blot i forskellige mængder, i de to bjergarter vidner om, at den phlogopittrige bjergart ikke er en simpel sprækkeudfyldning, men er produktet af reaktion med værtsbjergarten.

Undersøgelser af karbonatits reaktion med nefelinsyenit på Brava angiver karakteren af de opløsninger (fluider), som karbonatitten har afgivet. I modsætning til den klassiske fenitisering, som f.eks. omdannelsen af Bushveld granitten i Sydafrika, er feniteringen på Brava domineret af dolomittiske fremfor natriumkarbonatrige fluider. Dette er en vigtig konklusion, idet karbonatitten på Brava og de andre Kap Verde Øer tilsyneladende ikke har mistet en kemisk komponent, som ikke er repræsenteret af selve karbonatitten. Sammensætningen af karbonatitten kan derfor tages om en god tilnærmelse til det oprindelig magmas sammensætning.