

Jordens atmosfære, vulkanske gasser og størkning af Gardar bjergartssmelter

Jens Konnerup-Madsen

Under vulkanudbrud frigøres enorme mængder gasser fra den størknende smelte (magma). Selvom hovedparten af de gasser, vi ser ved et vulkanudbrud, er vanddamp, der faktisk er grundvand opvarmet af den varme bjergartssmelte, er der en række andre gasser, der frigøres fra selve bjergartssmelten på samme tid og tilføres atmosfæren.

Historien om Jordens atmosfære er en kompliceret affære, men Jordens nuværende atmosfæres sammensætning er kort fortalt et resultat af frigivelse af gasser tilbage fra Jordens oprindelige dannelse og senere afganginger fra Jordens indre. Sandsynligvis er vandet i oceanerne også oprindeligt kommet til overfladen som et resultat af en sådan afganging.

Også i dag får vi nye tilskud af gasser til atmosfæren fra Jordens indre. Den vigtigste kilde er som nævnt den vulkanske aktivitet, der bringer smeltet bjergartsmateriale med opløste gasser op fra Jordens kappe til overfladen. Som det bl.a. fremgår af aviserne, er sammensætningen af atmosfæren, oceanerne og floderne i dag resultatet af en delikat balance mellem vulkansk aktivitet, sedimentære processer og livsprocesser. En balance der måske er let at rykke, så det får skæbnesvangre følger.

Fra en nøgtern geologisk synsvinkel er gasserne i naturlige bjergartssmelter dog også vigtige for en lang række geologiske processer, idet selv små koncentrationer har stor indflydelse på, hvilke mineraler og bjergarter der dannes i Jordens skorpe og kappe.

Undersøgelser af vulkanske gasser er derfor af fundamental betydning, men indsamlingen er et kompliceret og til tider farligt foretagende. Undersøgelser af vulkanske gasser har vist, at vand, kuldioxid og svovldioxid som regel er de vigtigste, men at en række andre gasser af grundstofferne kulstof, ilt, brint og svovl er tilstede sammen med kvælstof,

halogengasser (klorbrinte og fluorbrinte), argon og helium. Alle disse gasser er bragt op mod Jordens overflade opløst i bjergartssmelten, men da opløseligheden af gasser i smelte falder drastisk med de lavere tryk, smelten møder tæt ved overfladen, udskilles de fra smelten og bliver til den fri gas, vi kan se ved et vulkanudbrud.

Frigivelse af gasser i forbindelse med vulkanudbrud. Gasserne udskilles fra magmaet da opløseligheden af disse falder med aftagende tryk i magmaet. Gasserne er vigtige både for sammensætningen af vores atmosfære og for geologiske processer i almindelighed. Foto: R. Wilson



Men gasserne kan også blive udskilt fra en smelte, der bliver bremset på sin vej mod overfladen og derfor afkøles og størkner under højere tryk et eller andet sted i Jordens skorpe. Herved dannes en plutonisk bjergart. Når en smelte afkøles og begynder at udfælde mineraler under afkøling, vil en række grundstoffer, der ikke indbygges i de almindelige bjergartsdannende mineraler, blive opkoncentreret sammen med gasserne i restsmelten. På et tidspunkt, efter at en vis del af smelten er størknet, vil koncentrationen af gasser i restsmelten være blevet så høj, at gasserne ikke længere kan holdes i opløsning, men udskilles som en fri magmatisk gasfase. Sammensætningen af den udskilte gasfase er i høj grad et resultat af de tryk og temperaturer, hvorunder bjergartssmelten størkner, men vand og kuldioxid, samt en række klor- og fluorforbindelser ses hyppigt som bestanddele.

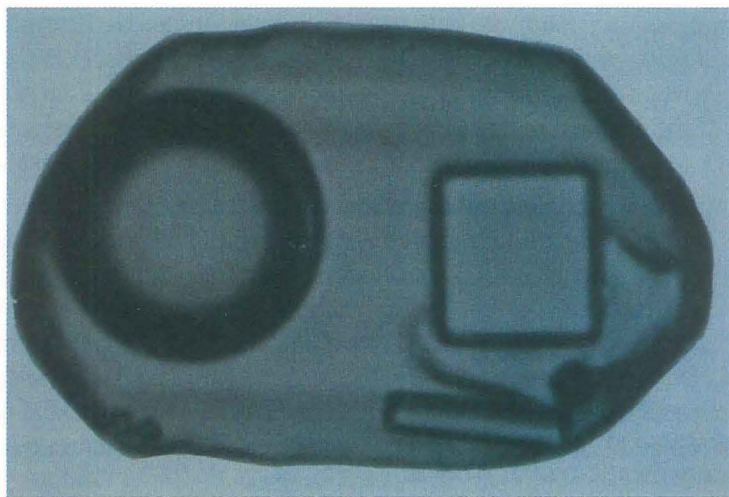
Små prøver af disse magmatiske gasser kan indfanges i de mineraler, der udfældes fra bjergartssmelten, som fluid(gas-væske)-indeslutninger i mineralerne (fluid bruges ofte som en fælles betegnelse for både væsker og gasser).

Undersøges disse fluidindeslutninger, kan vi derfor få en mængde oplysninger om, hvilke gasser der var tilstede i bjergartssmelten, da den størknede. Sådanne undersøgelser har vist, at udover vand og kuldioxid er der typisk i vandet opløst salte som natriumklorid, kaliumklorid, calciumklorid og magnesiumklorid, og i nogle tilfælde gasser som metan og kvælstof.

Men hvorfor er en magmatisk gasfase vigtig? Af to grunde. For det første har en sådan varm fri gasfase bestående af vand og klorsalte (den kaldes ofte en hydrotermal opløsning) en enestående evne til både at udlude en lang række grundstoffer fra mineraler og bjergarter og til at holde disse grundstoffer i opløsning. For det andet har frigivelsen af en hydrotermal opløsning fra en størknende smelte den effekt, at der kan opbygges et meget stort gastryk. Så stort et gastryk, at det - selv om frigivelsen sker ved størkningen af eksempelvis et granitisk magma på 5-10 kilometers dybde i skorpen - er nok til at sprække de omkringliggende bjergarter op og skabe mulighed for, at den resterende smelte og gasserne kan trænge ind i disse sprækker, udfælde mineraler i dem og danne pegmatiter og apliter (finkornede bjergarter).

Af økonomisk interesse er især sådanne hydrotermale opløsningers evne til at udlude metaller fra sidebjergarterne, holde metallerne i opløsning, og endeligt at genudfælde dem som eksempelvis sulfidmineraler i de dannede sprækkesystemer. Resultatet af disse processer kan være en malmforekomst. Nogle af verdens største malmforekomster er således dannet i forbindelse med størkningen i Jordens øvre skorpe af en granitisk bjergartssmelte, udskillelsen af en hydrotermal fluidfase, udludning af metaller og deres senere genudfældning som sulfidmineraler i dannede sprækker i sidebjergarterne.

Den kontinentale Gardar riftzone er et oplagt område at undersøge nærmere for mulig afgasning fra Jordens kappe. En række magmatiske intrusioner i riften er størknede smelter dannet ved opsmeltning af den underliggende kappe. Disse smelter har indeholdt gasser fra kappen. Under smelternes størkning er disse gasser blevet indfanget i de dannede mineraler og kan nu ses som fluidindeslutninger.



Fluidindeslutninger i kvarts set i mikroskop ved stuetemperatur. Indeslutningerne afspejler sammensætningen af den indfangede fluidblanding. Forskellige fluidblandinger kommer derfor til at se forskellige ud i mikroskop. Billedet viser nogle hovedtyper af fluidindeslutninger i kvarts dannet sent under størkning af en granitisk smelte. Indeslutningerne, der er ca. 0,05 millimeter, består af en kuldioxidrig gas og en vandig opløsning rig på salte. Et af disse salte er stensalt (= natriumklorid), der ses udfældet som en terning.

Undersøgelser af fluidindeslutninger i mineraler fra de magmatiske bjergarter fra Gardar provinsen i Sydgrønland har vist, at vandige, saltholdige opløsninger sammen med kuldioxid og kulbrinter som methan er blevet udskilt fra disse bjergartscentre hen mod slutningen af deres afkølings- og størkningshistorie, for dernæst at blive indfanget og bevaret i sent dannede mineraler som fluidindeslutninger. Undersøgelserne viser også, at under størkningen af smelterne ændrede fluidindeslutningerne delvis karakter, idet tidligt dannede mineraler ofte indeholder mere iltede fluidindeslutninger (kuldioxid og vand) end sent dannede mineraler, hvor indeslutninger kan være rige på methan.

Afhængigt af karakteren af de størknende smelter har blandingen af gas og smelte under størkningen af smelterne udviklet sig forskelligt. Således indeholder fluidindeslutninger i mineraler fra de meget siliciumoxid-

fattige smelter, som eksempelvis har givet ophav til Ilímmaasaq intrusionen, gasser domineret af methan og højere kulbrinter (f.eks. ethan og propan) sammen med saltrige vandige opløsninger. Dannelsen af disse usædvanlige magmatiske gasser skyldes en kombination af meget lave iltryk og lave slutstørkningstemperaturer for denne type bjergartssmelter.

Beregninger foretaget på vulkanske gasser indsamlet i forbindelse med vulkanisme i dag viser dog, at en sådan udvikling ikke er usædvanlig. Havde de meget varme vulkanske gasser haft mulighed for at afkøles til lave temperaturer i selskab og ligevægt med den vulkanske lava, ville disse gasser også være blevet omdannet til meget methanrige blandinger. I tilfældet Ilímmaasaq har det endvidere været foreslået, at dannelsen af kulbrinterige gasser kan hænge sammen med en katalytisk effekt af nogle af de mineraler, der dannes under størkningen. Man ved, at mineralerne nefelin og arfvedsonit har en sådan virkning.

Undersøgelser foretaget på fluidindeslutninger i mineralet kvarts fra de granitiske intrusioner i Gardar provinsen, som også Ivittuut graniten tilhører, viser derimod, at gassen kuldioxid er typisk. Dette skyldes især, at iltrykket under størkningen af de granitiske smelter har været højere end under eksempelvis Ilímmaasaq intrusionens dannelse.

I forbindelse med Ivittuut graniten og kryolitforekomsten viser undersøgelser af fluidindeslutninger i mineraler, at netop udskillelsen af en fri hydrotermal fluidfase rig på kuldioxid og vand med opløste salte fra en granitisk bjergartssmelte har været bestemmende for dannelsen af de forskellige typer af bjergarter, vi ser i området, og for dannelsen af selve Ivittuut kryolitforekomsten. Undersøgelserne viser også, at disse geologiske processer fandt sted på et højt niveau i Jordens skorpe svarende til dybder på ca. 3 km, og temperaturer strækkende sig fra 600° til 350°C. Så selvom fluidindeslutninger i mineraler er mikroskopiske i størrelse, kan studier af dem resultere i særdeles vigtige resultater.