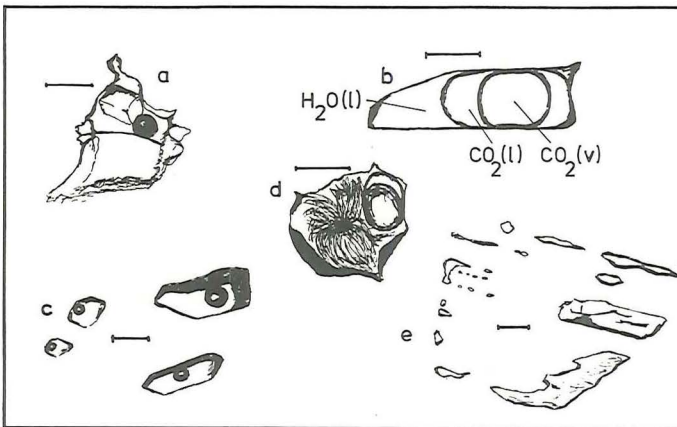


Bobler og dråber i mineraler ~ gas-væske indeslutninger i krystaller

af Elfin Larsen, Kornerup Madsen, Rose-Hansen

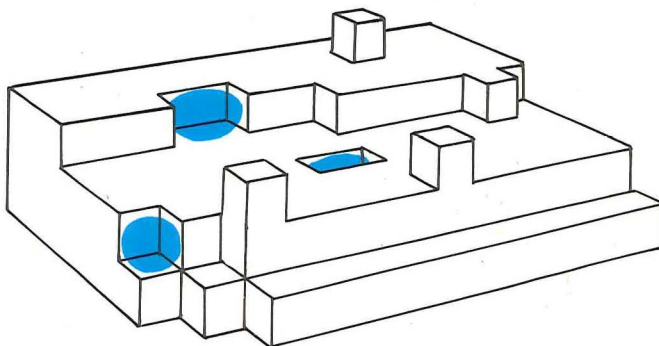
En vigtig opgave for geologerne er at bestemme de temperaturer og tryk mineralerne og dermed bjergarterne er dannet ved, samt at bestemme sammensætningen af de opløsninger hvorfra de er dannet. Den måske eneste kendte metode hertil, er studiet af gas-væske- indeslutninger.

Mange kender sikkert mælkekvarts, hvis hvide mælkede farve skyldes, at kvartsen indeholder millioner af små indeslutninger af gas og/eller væske, hvorfra lyset reflekteres. Indeslutningerne er almindeligvis så små, at de ikke kan skelnes med det blotte øje. Undertiden er en stærk lup tilstrækkelig til at afsløre de enkelte indeslutninger, men oftest er det nødvendigt at bruge mikroskop for at iagttage dem. Indeslutningerne er nemlig som regel under 0,01 mm i diameter, dog kendes der indeslutninger med rumfang på 100 ml. Indeslutningerne studeres i polerede tynde skiver (0,1-1 mm tykke). En sådan skive af mælkekvarts vil under et mikroskop afsløre, at indeslutningerne er af meget forskellig størrelse og form. I mælkekvarts er der ofte over 10 milliarder indeslutninger pr. kubikcentimeter. Skønt der er mange, er de enkelte indeslutninger så små, at deres samlede rumfang sjældent udgør mere end 0,1 procent.



Figuren viser forskellige former for indeslutninger: a) meget uregelmæssig væskeindeslutning, med en terning af NaCl. b) rørformet indeslutning med en blanding af CO₂ og H₂O. c) gruppe af små væske-gas- indeslutninger. De mindste afgrænses af de samme krystalflader som kvarts ("negative krystaller"). d) samme type indeslutning som b. Her ses desuden "dunet" dat-termineral, dawsonit. e) rekrystalliseret sprække med methanindeslutninger. Målepinden er 1/20 mm lang.

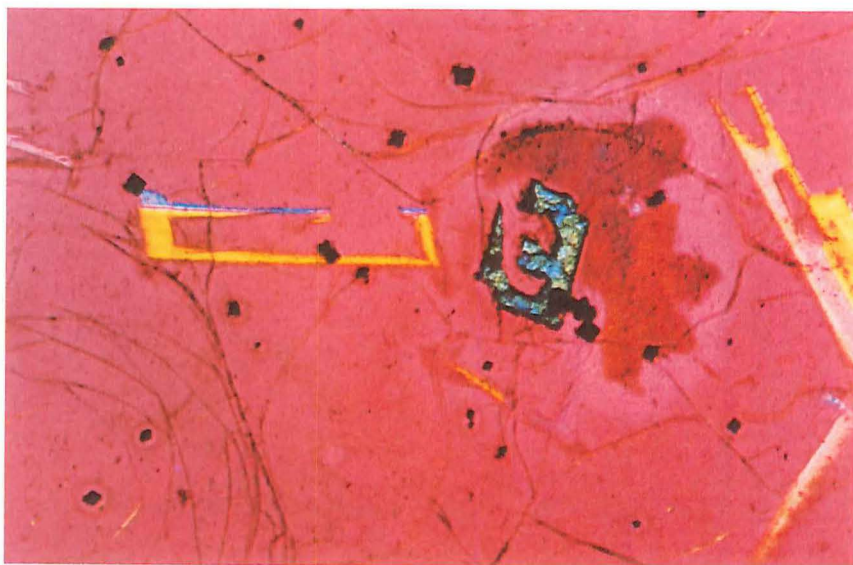
I nogle indeslutninger ses en lille gasboble, der foretager hurtige bevægelser, de såkaldte "brownske bevægelser". Det skyldes, at gasboblen omgives af en væske, hvis molekyler bevæger sig og herved skubber til de små gasbobler. Det er interessant at tænke på, at disse bevægelser undertiden har foregået i millioner af år. Andre indeslutninger ligner blot "huller", idet de kun består af enten gas eller væske. Undertiden kan man være heldig desuden at finde en eller flere små krystaller i indeslutningerne.



Mineraler vokser ved, at der opbygges lag på lag. Ofte begynder nye lag at dannes før det underliggende lag er færdigudviklet, eller lagene vokser fra to sider. Herved kan der under mineralets vækst indespærres en del af de opløsninger hvoraf mineralet dannes. Sådanne indeslutninger kaldes primære. Efter at mineralet er dannet, kan krystallen på grund af ydre påvirkning revne og nye opløsninger kan gennemsnive det. Derved kan de såkaldte sekundære indeslutninger dannes.

Studiet af de primære indeslutninger giver således oplysninger om den opløsning, hvorfra mineralet er dannet, mens de sekundære giver oplysninger om hvilke opløsninger, der har påvirket mineralet, efter at det var dannet.

Kvarts (SiO_2) og andre såkaldte gangmineraller kan dannes ved at gennemstrømmende varme vandige opløsninger afsætter SiO_2 i åbne sprækker i bjergarterne. Opløsningerne indeholder foruden silicium (Si) og oxygen (ilt = O_2) ofte et stort antal opløste salte som for eksempel NaCl (kogsalt) og KCl. Når kvartsen senere afkøles trækker den vandige opløsning sig sammen, og samtidig fordamper noget af væsken, så man får en indeslutning, der består af væske plus en gasboble. Iøvrigt trækker mineralet sig også sammen, men langt mindre end væsken. Hvis indholdet af de opløste salte har været tilstrækkelig stort, kan indeslutningen ved afkøling blive overmættet med salt, der så udfældes som små krystaller - såkaldte "dattermineraller". Der kendes indeslutninger med over 10 forskellige dattermineraller foruden gas og væske.



Feldspat og pyroxen kan ved hurtig vækst danne centrale hulrum hvori der kan indesluttet glas. Forstørrelse 6,3 gange.



Feldspat der har indesluttet glas. Krystallen er vokset fra midten og udéf-ter. Forstørrelse 6,3 gange.



Gas-væske-indeslutning med stensalt og uidentificeret krystal som dattermineraller.

Chkalovit fra Ilimaussaq.

(se Varv 1967 nr. 2)

Forstørret cirka 3300 gange.

Som nævnt består indeslutningerne nu på grund af afkølingen ofte af gas plus væske. Idet man går ud fra, at de oprindeligt ved højere temperatur er blevet indesluttet som én fase, enten væske eller gas, opvarmer man den polerede skive på et varmebord under mikroskopet til indeslutningen homogeniserer som én fase, gas eller væske. "Homogenisationstemperaturen" er dog ikke det samme som dannelsesstemperaturen, idet man først må korrigere for tryk og den kemiske sammensætning.

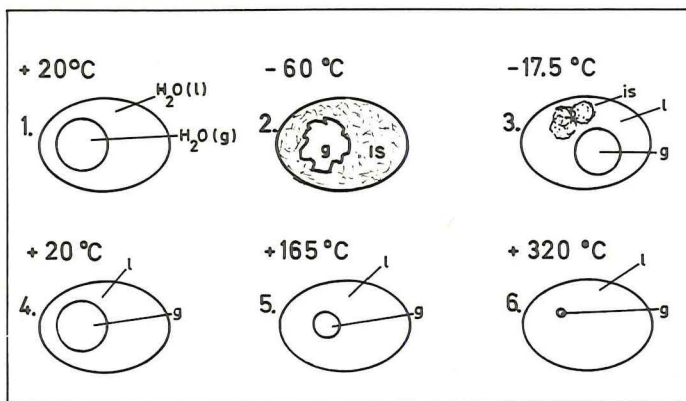
Trykket kan undertiden bestemmes, når man ved i hvilken dybde mineralet er dannet. Hvis der både findes indeslutninger der består af kuldioxid (CO_2) og af vand kan trykket bestemmes ud fra såkaldte tilstandsdiagrammer.

Den kemiske sammensætning kan bestemmes dels ved at studere reaktioner under afkøling på kuldebord og dels ved mikrokemiske metoder.

Afkølingen foregår ved at der over prøven ledes gas, der er afkølet i flydende luft. Under mikroskopet studeres her indeslutningernes frysepunkt og dannelse af nye mineraler. Ud fra frysepunktet kan man få en størrelsesorden på saltindholdet. Både NaCl og KCl danner enkeltbrydende terning-formede krystaller, men NaCl omdannes ved afkøling til cirka -20° til $\text{NaCl} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, der ved lysets gennemgang i et polarisationsmikroskop ses at være dobbeltbrydende.

Den kemiske sammensætning kan også bestemmes ved, at mineralet knuses og de frigjorte salte opløses i super-rent vand. Opløsningen filtreres med super-rent filterpapir og filtratet analyseres.

Opløste gasser kan analyseres ved at prøverne knuses i kuglemølle under vacuum, hvorefter de frigjorte gasser bestemmes ved hjælp af følgende metoder.



Figuren viser en række observationer, man gør ved frysning og opvarmning af en indeslutning. Ved afkølingen (1-2) fryser væsken (l), den får et mørkt udseende og grænsen til gassen (g) bliver uregelmæssig. Herefter opvarmes igen (3) og ud fra den temperatur, hvor den sidste del af isen smelter, kan mængden af opløste salte i indeslutningen beregnes. Der opvarmes yderligere (4-6) indtil indeslutningen homogeniserer.

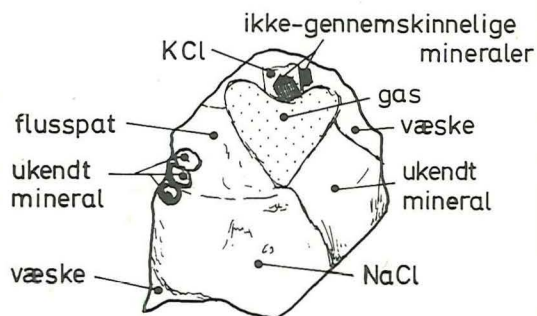
De kemiske undersøgelser har vist at natrium (Na) og klor (Cl) er langt de vigtigste joner, idet NaCl kan udgøre op til 40 vægt procent af indeslutningerne. Andre almindelige joner er kalium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfat (SO_4^{--}), carbonat (CO_3^{--}) og bikarbonat (HCO_3^-). Foruden disse kan der for eksempel findes kobber, mangan og zink. I sjældne tilfælde kan disse joner udgøre op til 1 vægt procent af indeslutningerne.

Studiet af indeslutningerne har således vist, at naturlige varme, vandige opløsninger (hydrotermale opløsninger) kan indeholde metaljoner i så høje koncentrationer, at for eksempel lagdelte bly-zink forekomster kan være dannet ved, at saltholdige opløsninger har udvasket grundstofferne fra bjergarterne på større dybde og genafsat dem i højere niveauer. Det samme kan være tilfældet for kobber og uranforekomster. Man har forgæves søgt efter væske- indeslutninger i bjergarter fra Månen, men har fundet interessante glasser med gasindeslutninger.

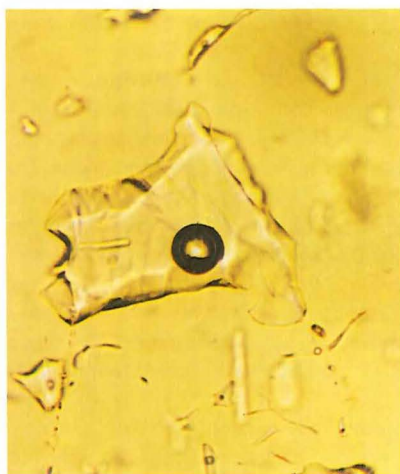
I laboratoriet for eksperimentel petrologi ved Institut for Petrologi, Københavns Universitet foretages undersøgelser af gas/væske- indeslutninger. Gasserne analyseres på kemiafdelingen, Risø ved hjælp af gaschromatografi og massespektrometri.

Arbejdet har hidtil været koncentreret om mineralerne fra Ilimaussaq intrusionen i Sydgrønland (Varv 1967 nr. 2) og den nærliggende Igaliko intrusion.

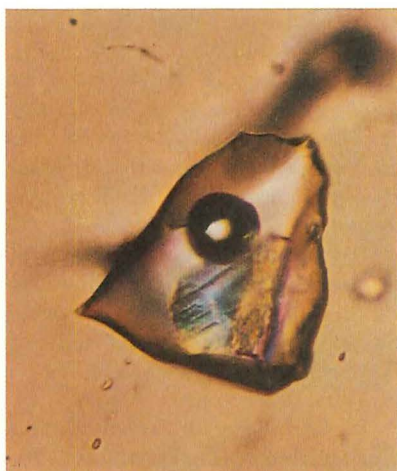
Undersøgelserne har blandt andet vist, at indeslutningerne i Ilimaussaqs mineraler overvejende består af vand og NaCl med gasser som helium (He), brint (H), kulilte (CO), kultveilt (CO₂), og et stort antal kulbrinter som methan (CH₄), C₂H₆, C₃H₈, i-C₄H₁₀, n-C₄H₁₀.



Indeslutning med mange dattermineraler, væske og hjerteformet gasboble. Rødkvarts fra Drammens graniten. Forstørret 40 gange.



Gas-væske-indslutninger i kvarts, pegmatit ved Evje, Norge. Forstørret 16 gange.



Indeslutning med væske, gasboble og to dattermineraler. Kvarts fra Evje pegmatit, Sydnorge. Forstørret 25 gange.