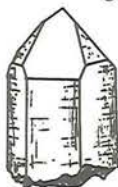


Kvartskrystallens hemmelighed



af Johannes Fabricius

For 225 millioner år siden i Zechstein (Øvre Perm) blev der i dén danske sænke, der strakte sig fra Skagerrak og i sydøstlig retning ned over Nordjylland, fra havvandet udfældet 3 evaporitserier, som er vist i nedenstående skema. (Se også VARV 1966/1 og 1970/1).

Cyklus	Symbol	Tykkelse, m	Lithologi
Z3	Na3	100-200	STENSALT, røde og brunlige farver
	T3	60	'SALTFLER', røde og grønne farver og farvet salt
Z2	Na2r	15	'DÆKSTENSALT', gul rød til orange rød
	K2	10	'HÅRDSALT', røde farver. (Veggerby kalizone)
	Na2(K)	20	STENSALT, rødlig til brunlig rød
	Na2	500	STENSALT, grå eller farveløs, grovkrystallin med små anhydritkrystaller
	Ca2	9	'ANHYDRIT-DOLOMIT-ZONEN', alternerende lag af anhydrit, kalksten og dolomit, mellemgrå
Z1	A1	1	ANHYDRIT, brunlig, kompakt
	Na1	500	STENSALT, grå eller farveløs, grovkrystallin med små anhydritkrystaller

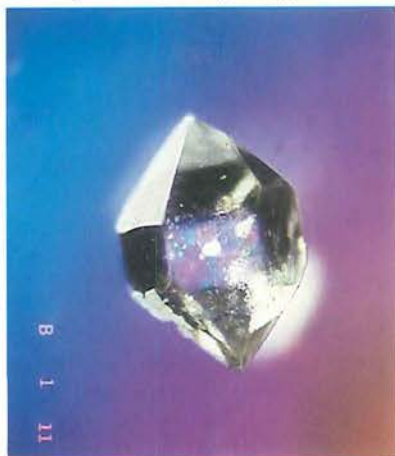
De anførte mægtigheder er omtrentlige, fordi de er målt i boreriger der er udført i stærkt deformerede sekvenser i saltdomer.

Det 10 meter tykke overgangslag A1-Ca2 mellem cyklus Z1 og cyklus Z2 er en meget vigtig ledehorisont i de boreriger, hvor laget er til stede. Da laget er kompetent - stift og skørt - i forhold til stensaltet, er det brudt op i store flager under diapirismen, det vil sige under saltets opskydning. Flagerne "svømmer" i saltet, hvilket bevirker, at man let kan bore ned mellem to flager, hvor overgangslagene mangler, uden at bemærke overgangen fra Na1 til Na2 eller omvendt.

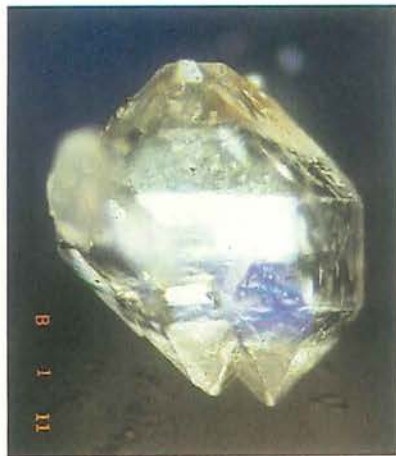
Saltefterforskningsprojektet EFP 81 ved Danmarks Geologiske Undersøgelse har undersøgt kærnemateriale fra Tostrup, Batum og Mors saltdomerne, blandt andet for at finde en metode til at adskille det "grå salt" Na1 fra Na2. I Nordvesttyskland har kvartskrystaller fra saltaflejringerne med held været anvendt som stratigrafisk værktøj. Det var derfor nærliggende også at undersøge kvartskrystallerne i saltet fra de nævnte domer. Boring 1A i Batum domeren er særligt egnet til en sådan undersøgelse, fordi der i 1951 blev foretaget en sammenhængende udtagning af boreprøver over ca. 500 meter Na1 og Na2 "grå salt" adskilt af overgangslaget A1-Ca2.

Kvartskrystallerne, der er i saltet, blev udtaget fra 500 gram saltkærne for omtrent hver meter boret kærne. Kvartskrystallerne er dannet ud fra kiselisyremættet, stærkt koncentreret havvand i væskefyldte hulrum i saltet. Det må antages, at krystallisationen er sket i forbindelse med bevægelser i saltet, hvorved saltopløsningerne er presset ud af saltet, og stedvis genfanget i lommer. Disse lommer møder man af og til under borearbejdet. De er som regel små, men kan også indeholde mange tusinde liter saltopløsning.

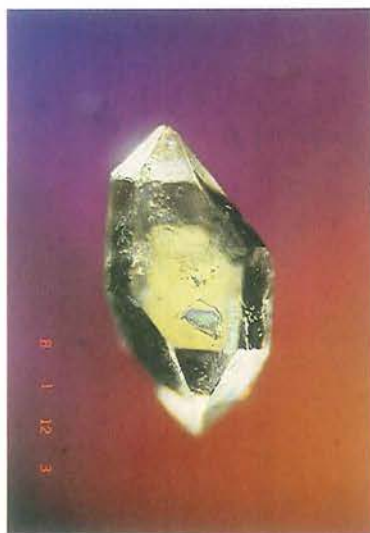
Antallet af krystaller per 500 gram kærnemateriale veksler mellem ca. 25 og nogle få hundrede. Krystallerne er ganske små, de største bliver op til 1.5 - 1.6 mm lange. Krystallerne er farveløse med meget få undtagelser, hvor de er røde eller gulligt røde. De fleste krystaller består af et seksidet prisme, der i begge ender afsluttes med en pyramide bestående af et positivt og et negativt rhomboeder. Der forekommer også "hexagonale bipyramider", hvor de positive rhomboederflader altid er større end de negative, hvilket viser, at der er tale om lavtemperatur kvarts, se fig. 1-3.



Figur 1. Krystal nr. 11.6. Størrelse: 750 x 515 μm .



Figur 2. Krystal nr. 11.4. Tvilling, der har størrelsen 1000 x 840 μm .



Figur 3. Krystal nr. 12.3. Størrelse: $1080 \times 540 \mu\text{m}$.

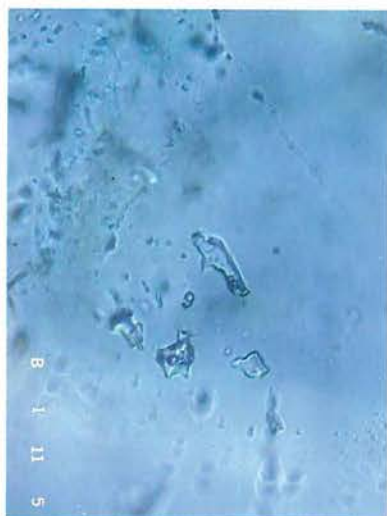


Figur 4. Krystal nr. 15.7. Størrelse: $660 \times 370 \mu\text{m}$.

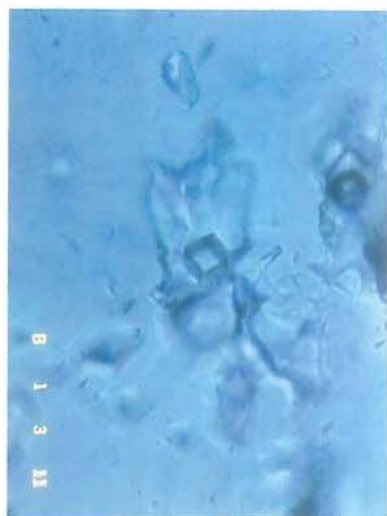
Undersøgelserne har vist, at der ikke er nogen tydelig forskel mellem krystaller fra Na1 og fra Na2 "grå salt", hvilket betyder, at aflejringsforholdene har været meget ensartede.

Når kvarts krystalliserer i den vandige opløsning, indfanges noget af væsken i f.eks. den mosaikstruktur, der ofte dannes på krystalfladerne (fig. 4). De således dannede væskeindeslutninger findes som små ansamlinger på interne krystalflader (fig. 5), hvor de ofte viser form efter mosaikstrukturen. Disse indeslutninger er som regel små, mindre end $10 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m}$ er 1 milliontedel af en meter) og er meget tynde. I store krystaller kan man af og til finde 30 - 50 μm store isolerede væskeindeslutninger, se figur 7.

Kvartskrystallerne og dermed også væskeindeslutningerne blev dannet under relativt høje tryk og temperaturer i en saltopløsning, der var mættet med natriumklorid (NaCl). Da krystallen i forbindelse med saltopskydningen blev bragt op til højere niveauer med lavere temperaturer og tryk og senere ind i laboratoriet, har væsken i indeslutningen trukket sig meget mere sammen end den omgivende kvarts, hvilket ses som en boble i indeslutningen. I de store indeslutninger dannes der også ofte en salt-terning (NaCl), fordi kold saltopløsning ikke kan holde så meget NaCl i opløsning som varm. Dannelsen af en boble og en saltterning i laboratoriet kan bruges til at beregne tryk og temperatur på



Figur 5. Mosaikstruktur på en prismeflade. Billedstørrelsen er $130 \times 195 \mu\text{m}$.



Figur 6. Samling af indeslutninger på en intern prismeflade. Billedformat $130 \times 195 \mu\text{m}$.

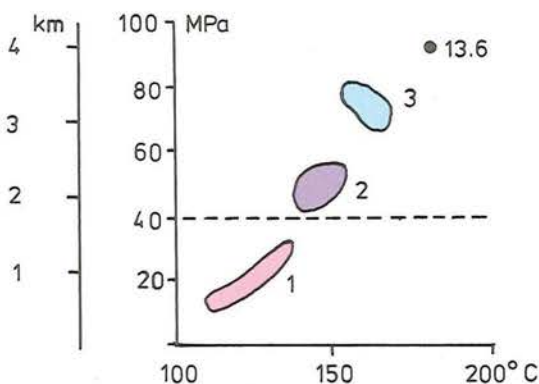
det tidspunkt, da værtskrystallen blev dannet. Man benytter den såkaldte mikrotermometriske teknik, der går ud på at genskabe dannelsesbetingelserne i indeslutningerne i et lille prøvechamber, der kan opvarmes, mens væskeindeslutningen betragtes i mikroskop (se VARV 1975/3).



Figur 7. Indeslutning med boble og halitterning. Billedkanten er $130 \mu\text{m}$ lang.

I prøvekommeret kan krystallen nedkøles med flydende kvælstof til is- og/eller hydratdannelse (mikrokryometri), og væskens kemiske sammensætning kan bestemmes ud fra isens og/eller hydraternes smeltepunkter, der kan bruges som indgangsværdier i fase-diagrammer. De mikrokryometriske målinger viser, at væskeindeslutningerne er komplekse calciumklorid-magnesiumklorid opløsninger med en mindre mængde natriumklorid. Saltholdigheden er målt til mere end 45 % og surhedsgraden svarer til en stærk syre.

På grundlag af de mikrotermometriske målinger blev tryk og temperatur bestemt for kvartskrystallernes dannelse, som det fremgår af diagrammet, fig. 8. Trykket er angivet i megaPascal (MPa). 1 MPa svarer omtrent til 10 kg/cm². Når trykket er kendt kan tykkelsen af den sedimentpakke, der var aflejret over krystallen, bestemmes, og hermed er også tidspunktet for krystal-dannelsen fundet. Område 1 i fig. 8 svarer således til Nedre Trias for omkring 220 millioner år siden. Når trykket overstiger 40 MPa - den stiplede linie på figuren - er betingelserne for vertikale bevægelser i saltet til stede, det vil sige pudedannelse og diapirisme.



Figur 8. Kvartskrystallernes dannelsesbetingelser.

Krystallerne i område 2 blev antagelig dannet i begyndelsen af pudestadiet i Øvre Trias for 200-210 millioner år siden. Krystallerne i område 3 må være dannet efter, at pudestadiet var udviklet og da der over puden var aflejret ca. 3 km sediment - svarende til begyndelsen af Kridt for 120-130 millioner år siden.

Krystal nr. 13.6 (figur 9) påkalder sig særlig opmærksomhed, fordi den er meget større end de øvrige krystaller (2,3 x 1 mm) og på grund af de høje dannelsesbetingelser, trykket 93 MPa og temperaturen 180° C. Krystallen er fundet i 684 meters dybde, 478 meter under caprock. Da krystal 13.6 krystalliserede var saltpudestadiet for længst afsluttet og diapirstadiet var under udvikling.



Figur 9. Kvartskrystal nr. 13.6. Størrelsen er 2.3 x 1.0 mm. Krystallen er hentet fra 684 meters dybde.

Tages der hensyn til mægtigheden af den sedimentpakke, der var aflejret over diapiren, da krystal 13.6 krystalliserede, samt den mængde salt, der siden krystallisationen er opløst og fjernet over krystallen, kan det anslås, at krystallen er hævet omtrent 3000 meter ved diapirismen til findestedet ca. 500 meter under caprock. Gennemsnitshastigheden for denne opskydning er ca. 0.05 mm/år, hvilket er en høj hastighed for den sen-diapiriske fase. Det kan derfor ikke udelukkes, at diapirismen er fortsat ind i Tertiær og at efterdønningerne efter denne diapirisme-fase stadigvæk kan finde sted.

For fuldstændighedens skyld skal det dog bemærkes, at alle kvartskrystallerne kan være dannet i de *horisontalt* liggende saltlag *uden for* saltpuden/diapiren. Krystal nr. 13.6 kan derfor være dannet i løbet af Kridt i en ukendt afstand fra diapiren og derefter med de øvrige krystaller bragt ind i diapiren og under diapirismen ført op til findestederne. Da saltets tilflydningshastighed er meget lav, må diapirhastigheden være tilsvarende høj, antagelig urealistisk høj i denne model.

Selv om denne undersøgelses hovedformål - at finde forskelle mellem Na1 og Na2 saltet - ikke med sikkerhed er opnået, har resultaterne dog givet et værdifuldt supplement til forståelsen af en saltdomes udviklingshistorie.