

EN GLØDENDENDE BOREKERNE

af Asger Ken Pedersen, Erik Nygaard, Jørn Rønsbo, Christian Bender-Koch og
Vagn Fabricius Buchwald

I 1959 blev der boret efter olie og gas ved Lavø tæt ved Helsingø i Nordsjælland af Danish American Prospecting Company (DAPCo). Olie eller gas fandt man ikke noget af, men fra kernerne i boringen fik geologerne mange vigtige oplysninger om undergrundens geologi. Nede i 2100 meters dybde blev der boret en ca. 3 m lang kerne – kerne nr. 10 – i sedimenter fra Gassum Formationen (Øvre Trias–Nedre Jura). Ved Lavø består Gassum Formationen af sandsten, siltsten og muddersten, der i sin tid blev aflejret i et miljø, som omfattede den kystnære del af en stor flodslette og et delta.

I sedimenterne er der få fragmenter af landplanter, hvilket er typisk for Gassum Formationens aflejringer. De øverste 2.7 m af kerne 10 viste sig at bestå af sandsten og siltsten, men i de bedreste 32 cm af kernen var der et materiale, som er helt forskelligt fra sten, der er boret op fra Danmarks undergrund – både før og siden. Man fandt her en række hårde grå til sorte glasagtige fragmenter, der i den oprindelige borerapport fra 1959 blev tolket som 'antracitisk kul', altså den fineste og mest opvarmede form for stenkul.

For nogle år siden genoptog geologer ved Danmarks Geologiske Undersøgelse undersøgelsen af dele af kernematerialet fra Lavø-boringen. Da man nåede frem til delen med 'antracitisk kul' blev det straks klart, at de glasagtige fragmenter ikke var kul, men en silikatbjergart. Var det en vulkansk bjergart, som man kender det fra Juratiden i det nærliggende Skåne, eller kunne det være en selvforbrændt skifer, som man kender det fra de brændende fjelde på Nugssuaq i Grønland ?

Det største enkeltstykke af den glasagtige bjergart blev undersøgt med en lang række forskellige metoder af en forskergruppe på 5 fra DGU, Københavns Universitet og Danmarks Tekniske Højskole. Da gruppen endelig kunne afsige sin dom, var stykket blevet den mest grundigt beskrevne enkeltprøve fra Danmarks undergrund.

Resultatet var klart: De glasagtige fragmenter er tidligere sandsten og siltsten, der under boringen er blevet knust, malet sammen og varmet op til mellem 1000 og 1100°C. Ved de høje temperaturer er det knuste sediment begyndt at smelte, og ved en efterfølgende hurtig afkøling blev den smeltede del af stenen til glas. Bjergarten har altså været udsat for pyrometamorfose (pyro betyder ild) af en art, som man ellers kun finder ved sidestenskontakter til eller som indeslutninger i basiske magmabjergarter. Lavø-bjergarten er det første velbeskrevne eksempel på boringsmetamorfose over 1000°C.



Figur 1. Det største glasagtige fragment (ca. 5 cm bredt) viser kun krumme flader med små buede kanter meget lig mejselmærker. Foto: Ole Bang Berthelsen.

Det undersøgte fragment (fig. 1) har omtrent form som et stykke lagkage. Bortset fra flader, der er skåret af stensaven, begrænses stenen af krumme og bølgede flader. Ved nærmere eftersyn kan man se, at de opbygges af små trinlignende flader, der kan være få millimeter brede og flere centimeter lange. Sådanne flader nikker vulkanologen genkendende til, for de hedder 'mejselmærker' (på engelsk chisel-marks) og findes meget almindeligt på søjler i søjlebasalter. Mejselmærkerne opstår, når en silikatsmelte størkner og trækker sig hurtigt sammen under afkøling.



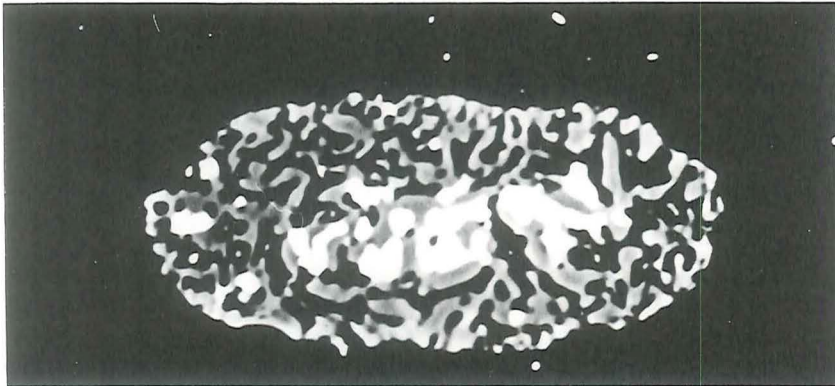
Figur 2. Savet flade, der viser en glasagtig grundmasse med hvidgrå klaster af siltsten. I venstre side ses et halvmåneformet stålfragment. Fladen er ca. 2 cm bred. Foto: Ole Bang Berthelsen.

Strukturerne i Lavø-prøven er derfor et tegn på, at prøven er kølet ned fra meget høje temperaturer. Ser man nærmere på de savede flader i stenen, fremkommer små gasblærer, og hist og her også et stykke metallisk jern (fig. 2).

Ser man i mikroskopet, består bjergarten af en meget finkornet mørk masse, med flydelinier markeret af bånd af ganske små gasblærer. Den indeholder talrige små korn af kvarts, og hist og her findes også op til flere millimeter store hvide klaster. De består af siltsten, der helt ligner den 'normale' siltsten fra Gassum Formationen. Men hvor man i den uopvarmede siltsten finder vandholdige mineraler som lys glimmer og kaolin i mellemmassen, så er der i Lavø-stenens hvide klaster i stedet små områder med lys og mørkebrun glas. Glas dannes når stensmelte størkner meget hurtigt. Undersøgelse af Lavø-stenens glas viser, at den må have været opvarmet til over 900°C, men kun for en kort tid inden den blev hurtigt afkølet.

I Lavø-stenens mørke mellemmasse findes små fragmenter af landplanter, og de er blevet undersøgt sammen med tilsvarende planter fra Gassum Formationens sedimenter i boringen. Det viser sig, at mens planterne i sedimenterne endnu er brunkul, der aldrig har været varmet op over 100°C, er de små fragmenter i Lavø-stenen blevet til antracit, altså den fineste stenkul. Heraf kan man slutte, at de har været opvarmet mindst adskillige hundrede grader, og at de må have afgivet naturgas.

Mest overraskende var dog undersøgelsen af små korn af malmmineraler i den glasagtige sten. De fleste malmkorn består af det almindelige mineral rutil, der har sammensætningen TiO_2 . Men rutilen er rekrystalliseret ved høje temperaturer, og langs randen af kornene er der på mange korn nydannet et andet malmmineral. Dette mineral hedder armalcolit til ære for de tre astronauter: Armstrong, Aldrin og Collins. Det var en stor overraskelse at møde et sjældent

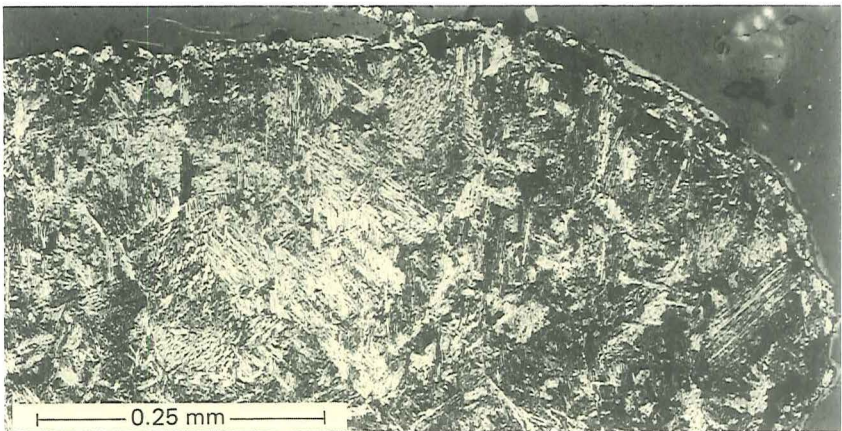
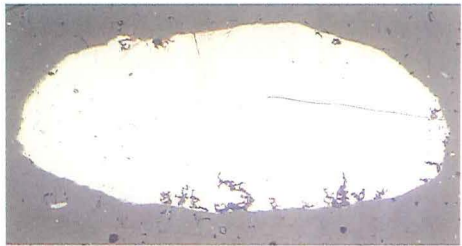


Figur 3. Et reflekteret elektronbillede af et oprindeligt jern-titan-oxidkorn, der er rekrystalliseret til rutil (grå) og jernsulfid (hvid). Langs kornets yderste rand ses det nydannede mineral armalcolit. Kornet er ca. 0.04 mm langt.

månemineral i en boring fra Nordsjælland, men det har givet nogle meget vigtige oplysninger om den glasagtige sten, for man har udforsket dannelsesbetingelserne for månemineralerne meget nøje. Armalcolit krystalliserer kun ved temperaturer over 900°C , og dertil kommer, at dannelsesmiljøet skal være meget iltfattigt. Analyser af den glasagtige bjergart har netop vist, at bjergarten næsten ikke indeholder ferri-jern, altså den mest iltede form for jern, som man finder i rust og som farver rødler. Næsten alt jernet findes som ferro-jern, den form for jern, man kender fra blåler. Dette betyder, at bjergarten er iltfattig.

Endelig rummede de spredte stykker metallisk jern, der blev fundet i den glasagtige bjergart, vigtige oplysninger om boringen. Metalstykkerne er undersøgt med metallurgiske metoder, og desuden er de kemisk analyseret. Jernets kemiske sammensætning svarer til den, der kendes fra almindeligt konstruktionsstål og viser, at det stammer fra boreudstyret. Men herud over fortæller stykkernes struktur en interessant historie. Takket være de sidste hundrede års metallurgisk forskning, kan man aflæse et stykke ståls opvarmnings- og afkølingshistorie. Det betyder, at den glasagtige bjergart med stålstykkerne har fået indbygget en slags maksimum-termometre og måleinstrumenter, der kan bestemme opvarmnings- og afkølingshastighed.

Figur 4. Afrundet stålfragment i den glasagtige bjergart. Kornet er 2.5 mm langt. Poleret prøve set i reflekteret lys. Herunder del af samme korn, nu med ætset overflade, som viser mikrostrukturer, der tillader bestemmelse af kornets opvarmnings- og afkølingshistorie.



Af metalfragmenternes indre struktur kan man se, at stålet har været opvarmet kortvarigt til ca. 1000 eller 1100°C. Opvarmningen nåede ikke så højt op, at metallet begyndte at smelte. Hvis temperaturen nåede 1100°C, har metallet kun været opvarmet så højt i nogle få minutter. Hvis temperaturen derimod kun nåede 1000°C, kan prøven godt have været så varm i længere tid.

Metallets struktur fortæller også, at prøven afkøledes fra sin maksimum-temperatur ned til under 100°C på imellem 10 og 100 minutter. Herudover kan man også se på overfladen af stålpartiklerne, at de er blevet svagt opløst og iltet under opholdet i den delvis smeltede bjergart.

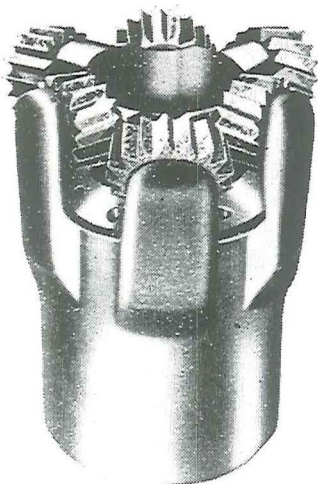
Hvis man sammenfatter oplysningerne, får man følgende historie frem: Den glasagtige bjergart er oprindelig en siltsten fra Gassum Formationen. Under kerneboringen blev sedimentet knust og formalet på en sådan måde, at gnidningsvarmen fik temperaturen til at stige til mange hundrede grader. Opvarmningen bredte sig også til planterester i prøven, og disse begyndte at udvikle naturgas, medens de selv blev til antracit. Kombinationen af den fortsatte udvikling af gnidningsvarme og forbrænding af naturgas fik temperaturen til at stige yderligere, så højt at der i det knuste sediment dannedes smeltet stenmasse. Da temperaturen var på sit maksimum dannedes det sjældne mæneminerale armalcolit i et miljø, der var iltfattigt på grund af naturgassens forbrænding. Temperaturen steg kortvarigt til mellem 1000 og 1100°C, hvorefter prøven hurtigt blev nedkølet til under 100°C på mellem 10 og 100 minutter.

Men hvorfor er temperaturen steget ?

Borekerne nr. 10 blev skåret fri med en borekrone, der var besat med takkede rullemejsler. Det knuste stemmateriale, der slås løs af mejslerne, skal straks fjernes, og det gøres ved at presse boremudder ned gennem borerøret. Mudderet stiger herefter op langs borestammen sammen med det knuste stenmateriale.

Den kortvarige opvarmning i Lavø-boringen må være opstået, fordi mudderstrømmen har været for svag i forhold til borehastigheden, og kølemekanismen blev derfor helt eller delvist sat ud af kraft.

Den omstændighed, at noget af den delvis smeltede stenmasse er kommet op som en kerne, viser, at der blev boret ca. 30 cm under den voldsomme opvarmning, og de spredte stålkorner illustrerer, hvor voldsomt friktionen har belastet borekronen.



Figur 5. Borekrone med rullemejsler.