

# Tektonik i Køkkenet



af Asger Berthelsen

Der er ingen grund til at rynke på næsen, få synklinaler i panden, eller folde hænderne med opadvendt blikke. Dette er ikke tektonik efter koge- eller lærebogen. Det er et minikursus i gør-det-selv tektonik, hvor du frit efter egen smag kan vælge krydderierne.

Materialerne er ikke dyre at indkøbe, og bare du disponerer over et køkken med en bage- eller stegeovn og diverse skærereds kabler, kommer det ikke til at vælte dit husholdningsbudget.

Ordet tektonik er af græsk oprindelse (tektos: tømmer), og det hentyder til en rumlig konstruktion og hvordan den er blevet til. Med andre ord, hvorledes geologiske strukturer er opbygget og blevet dannet.

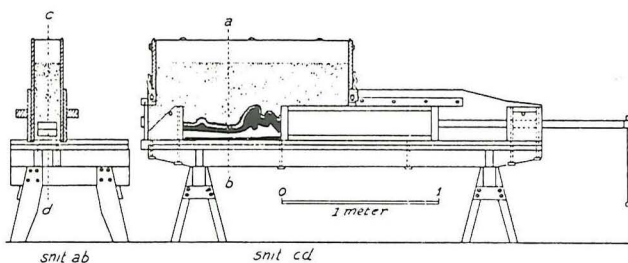
Det, at oprindelig vandret-liggende lag mange steder viser forstyrret lagstilling, har altid fascineret tektonikerne. De har grublet over, hvorledes de forstyrrede lags geometri er bag ved eller under det synlige profil, hvorledes bevægelserne har udspillet sig, og hvilke kræfter, der udløste dem.

I slutningen af 1700-tallet trivedes et frugtbart geologisk forskermiljø i Edinburgh omkring James Hutton (den moderne geologis fader) James Playfair og Sir James Hall. Under sine vandringer i naturen, var Hall blevet fascineret af at se hvorledes vandret-lejrede sedimenter kunne følges over i lag, der rejste sig op i folder, og han fik lyst til at efterprøve, hvorledes dette kunne være sket. Han bredte linned og klæde, lag for lag, ud på et bord - og tog en dør som "tilfældigvis var af hængslerne" og lagde den ovenpå med et par tunge lodder allerøverst. Så var forsøgsopstillingen klar.

Hall behøvede blot ved hver ende af tøjstabelen at presse et brædt ind mellem bordpladen og døren, fatte en hammer og drive det ene brædt ind med det andet - og "lagene" blev tvunget til at bøje op og ned og de antog foldeformer. Han havde vist at foldning kan opstå ved sammenskydning.

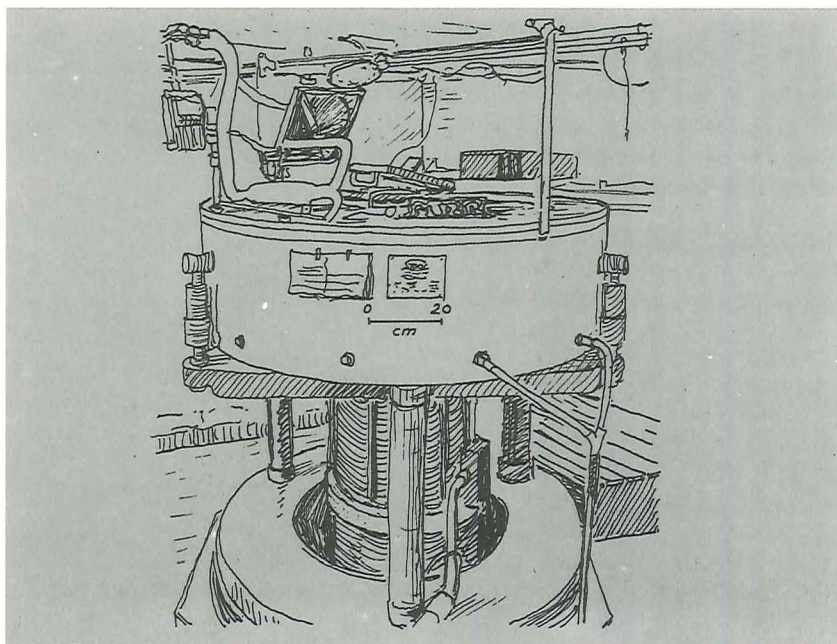
Nu er det langt fra sikkert, at familiens øvrige medlemmer bliver henrykte, hvis du forsøger at gentage Sir James Halls klassiske forsøg, og det vil nok også fylde for meget i køkkenet eller hobbyrummet, hvis du bygger dig en foldemaskine i stil med den, den amerikanske geolog Bailey Willis anvendte under sine forsøg i 1890'erne. Den var ca. tre meter lang, fig. 1.

Der er heldigvis mere enkle og instruktive metoder. Kun hvis du er meget "kræsen" og forlanger, at dine eksperimenter skal være "skala-tro", bliver det for



Figur 1. Bailey Willis' foldemaskine fra slutningen af forrige århundrede.

indviklet. Skala-tro eksperimenter udføres så deres resultater efter passende omregninger kan overføres direkte på naturlige forhold. For at dette kan gøres, selv om forsøgene udføres i formindsket størrelse, med ikke-geologiske materialer og over tidsrum der ikke er af virkelig geologisk længde, må de andre "konstanter" kunne ændres. Dette har professor Hans Ramberg i laboratoriet på Geologiska Institutionen ved Uppsala Universitet løst ved at udføre eksperimenterne i en særlig bygget centrifuge, hvor tyngdekraftens påvirkning kan øges.



Figur 2. Hans Rambergs tektoniske forsøgslaboratorium, Geologiska Institutionen, Uppsala Universitet.

Rambergs forsøg har bl.a. vist, at lagene under en salt-diapir ofte vil være trukket højt med op inden i diapiren under saltets opstigning. Et forhold, som man ellers var helt uvidende om, fordi det i praksis er umuligt at skaffe oplysninger om strukturerne i naturlige salt-diapirers nedre del og "bund".

Du skal ikke forvente at kunne revolutionere den tektoniske forskning tilsvarende ved de mere enkle forsøg, der kan udføres i et almindeligt køkken. Men du vil kunne skaffe dig et udmærket indblik i, hvorledes forskellige geometriske former og erosionsmønstre kan udvikles.

Det mest taknemmelige materiale at arbejde med er modellervoks (plasticin). Det kan købes i en større farvehandel i pladeformede pakninger eller store klodser. De små stænger, man kan købe i legetøjsbutikkerne, er for dyre, hvis man virkelig ønsker at bage tektoniske kager. Køb mest af neutral lys farve, og vælg kraftigt rødt, gult og blått eller grønt som pyntelag i lagkagen. Før opvarmning i ovn skal modellervokset skæres ud i tynde plader, ca. en halv centimeter for pyntelagenes vedkommende. De neutrale mellemlag kan være lidt tykkere. Anbring så pladerne på indsmurt bagepapir eller almindelig pergament og læg dem i ovnen. Jeg har brugt salatolie til indfedtning, så papiret ikke senere "hænger ved". Når modellervoks-pladerne er blevet blanke og er ved at flyde ud på overfladen, bør de forsigtigt tages ud ved at du skubber dem over på skærebrættet eller en plade. Det er dog nok klogt at prøve at "bage" en lille prøve først, for at finde frem til en passende temperatur og bageetid. Bag ikke for varmt, men i længere tid. Mens pladerne er varme, skal de med en flad kniv eller palet tages af papiret og lægges sammen til en lagserie. Byg den op som en langstrakt firkant, så du kan folde den sammen bagefter, uden at den bliver for kort på den sammenfoldede led.

Kunsten er nu at forme lagkagen i hænderne på samme måde, som rigtige lagserier er blevet deformeret i naturen. Her må du prøve dig frem. Modellervokset holder sig varmt forholdsvis længe, så du har mulighed for at gennemføre selv komplicerede forsøg. De mest spændende strukturer opnår du ved at folde liggende folder, og folde dem i nye liggende folder på en anden led. Du kan også presse folderne, så de slingrer op og ned eller til siden.

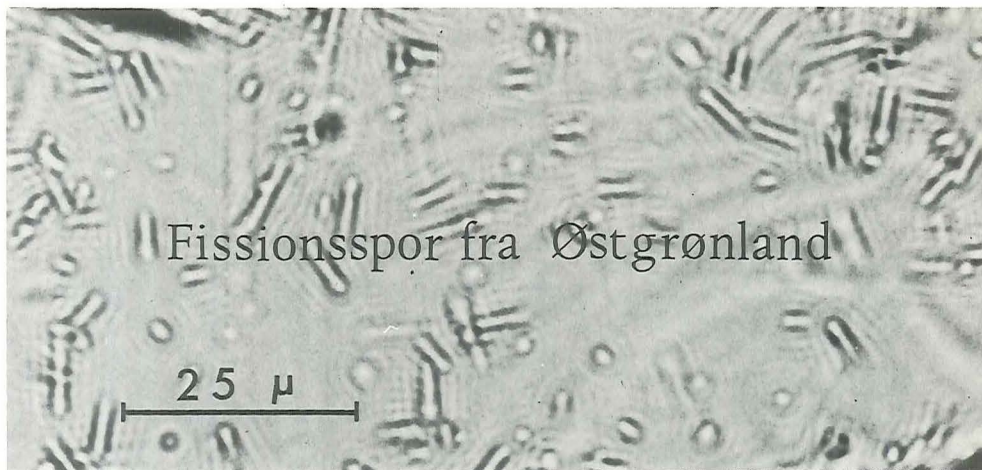
En nybagt foldekage skal - ligesom andet bagværk - afkøles før den skæres. Lad den hellere stå natten over et køligt sted. Tag dig ikke af, at den ikke ser så spændende ud. Morskaben begynder først, når du skærer den op. Brug en kniv med savskær - ligesom til rundstykker, der er bløde indeni. Så får du den reneste snitflade, vel og mærke hvis du ikke saver, men blot presser kniven lige ned gennem modellen.

Du har selv foldet lagene. Du ved, hvordan modellen bør være opbygget indvendig, men du kan nu også forudsige, hvordan lagmønsteret vil blive, når du lægger et bestemt snit med kniven? Kommer der så virkelig de strukturer frem, som du forventer?

Gør-det-selv tektonik efter modellervoks-kage metoden kan ikke blot anbefales interesserede amatørgeologer. Selv erfarne, professionelle geologer kan med fordel benytte metoden til anskueliggørelse og efterprøvning af geometriske tolkninger af naturlige strukturer opnået ved andre mere eksakte metoder. Det er nu en gang lettere at tænke rumligt, når man har noget konkret, man kan overskue, at gå ud fra.



*Figur 3. En skive af en tektonisk kage bagt af forfatteren. Modellen giver en princip-illustration af strukturerne indeni Mors diapiren.*

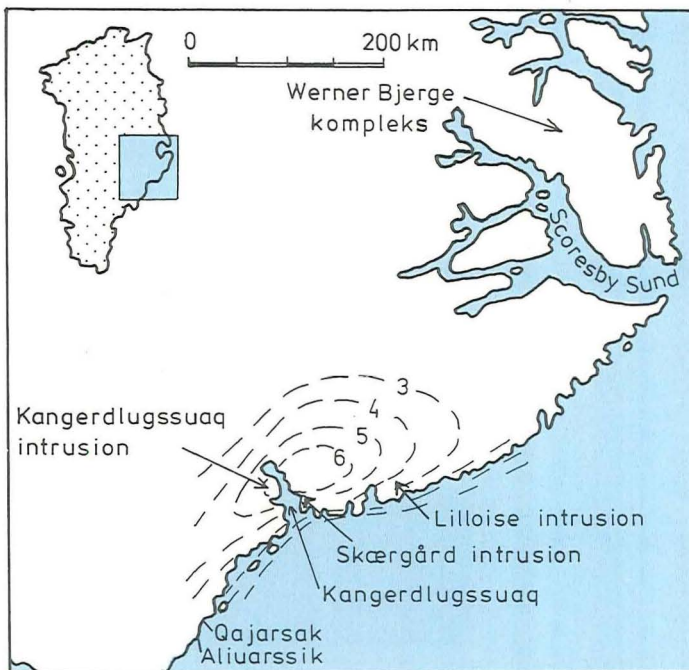


af Kirsten Hansén

På fotografiet oven over ses de korte linieformede ar eller fissionsspør som dannes i krystaller, når uran 238 ved fission spaltes i tunge partikler, der stødes fra hinanden. Sporene er kun 5-20 tusindedele millimeter lange, men ætsets spalteflader eller polerede flader, kan sporene gøres synlige under et almindeligt mikroskop (ved f.eks. 500 gange forstørrelse).

Fissionssporene bevares dog kun, hvis temperaturen ikke er for høj, idet sporene kun kan fastholdes under en vis temperatur - kaldet lukningstemperaturen. Når temperaturen synker til lukningstemperaturen, vil nydannede spor blive bevaret, og jo længere tid et mineral opholder sig under lukningstemperaturen, jo flere fissionsspør dannes der i det. I praksis sker dette dog over et temperaturinterval, hvor flere og flere spor bevares efterhånden som temperaturen falder. Lukningstemperaturen er derfor defineret som den temperatur, hvor halvdelen af sporene fastholdes i mineralet. Det er nu muligt at beregne, hvor længe et mineral har befundet sig under sin lukningstemperatur, når man har talt hvor mange fissionsspør, der findes per arealenhed i en ætset flade, dersom mineralets uranindhold kendes. I VARV 1977-3 er der gjort rede for hvorledes sådanne fissionsspør-dateringer udføres, her bringer vi et eksempel på fissionsspørmetodens anvendelse.

Eksemplet er hentet fra Kangerdlugssuaq-området i Østgrønland (fig. 1). I tertiærtiden for ca. 55 millioner år siden begyndte Grønland at drive bort fra Europa. De første revne- og spaltetannelser blev ledsaget af en kraftig vulkansk aktivitet og dannelse af en ca. 7 km tyk "lagkage" af plateaubasalter (fig. 2.1). Senere trængte magmamasser frem og størknede som afgrænsede intrusioner under jordoverfladen, nogle helt nede i grundfjeldet under basalterne, andre højere oppe i basalterne (fig. 2.2). Disse begivenheder fulgtes af en kraftig hæving i områdets centrale del, hvorved Kangerdlugssuaq-omen dannedes. Her



Figur 1. Kortskitse over Kangerdlugssuaq-området, Østgrønland, med navnene på de tertiære intrusioner, hvorfra fissionsspor-dateringer er foretaget. Der er også vist højdekurver (i km) for Kangerdlugssuaq-domens topflade.

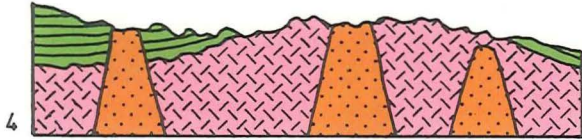
fjernede erosionen 6-7 kilometer, så plateaubasalt-seriens underlag lokalt blottedes (fig. 2.3).

Selv om denne udvikling udspandt sig i Tertiærtiden, og store mængder blev fjernet af erosionen, kan Kangerdlugssuaq-domens oprindelige form endnu rekonstrueres. De stiplede linier i figur 1 viser den anslåede højde i kilometer af domens topflade.

Når udviklingen har kunnet udredes som vist i profilerne i figur 2 skyldes det ikke mindst de fissionsspor-dateringer, som dr. C.K. Brooks og A.J.W. Gleadow har udført på prøver fra de tertiære intrusioner i området. Flere dateringsmetoder (K/Ar, Rb/Sr og fissionsspor-metoderne) har været benyttet til at bestemme intrusionernes størkningsaldrer (bjergartsaldrer) og ældste afkølingshistorie (mineralaldrer), medens fissionsspor-dateringer på apatit har afrundet billedet ved at berette om intrusionens seneste afkølingshistorie (fig. 3).

Et magma, som trænger op til et bestemt niveau i jordens skorpe vil efterhån-

35 MILL. ÅR - NU

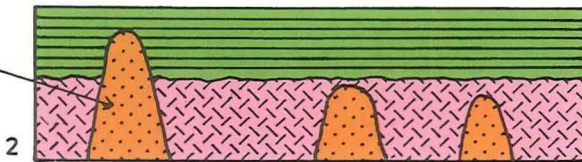


ca. 50 MILL. ÅR



ca. 50 MILL. ÅR

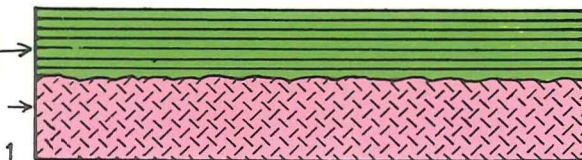
INTRUSION



ca. 55 MILL. ÅR

7 KM LAVA →

GRUNDFJELD →



Figur 2. Skematiske profiler gennem Kangerdlugssuaq-området.

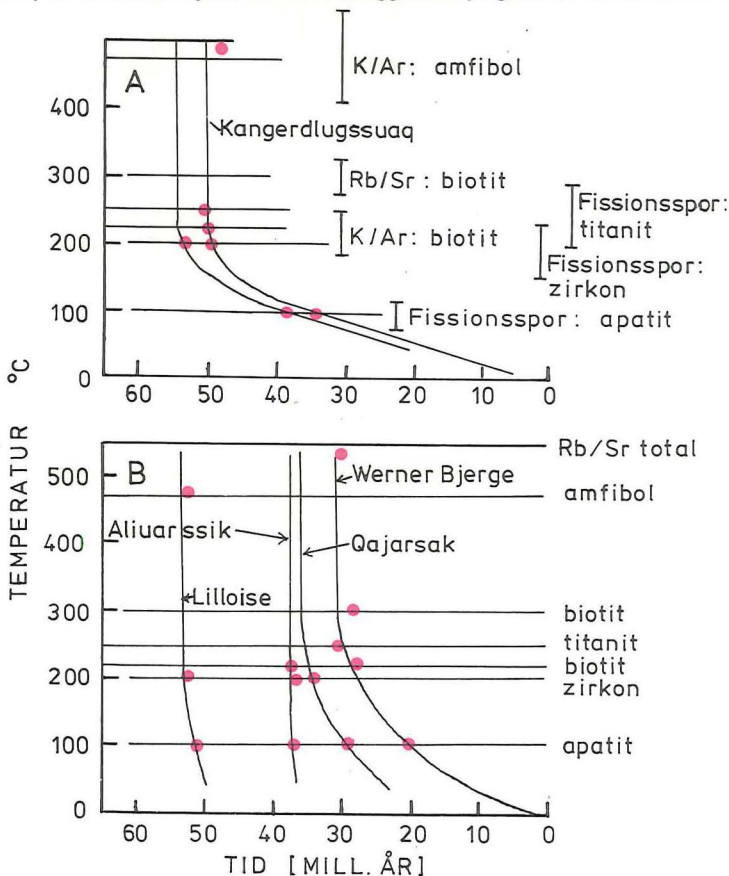
den antage omgivelsernes temperatur. Dette sker hurtigst nær jordoverfladen, hvor temperaturforskellen mellem magma og omgivelser er størst, og langsomere når magmakammeret befinder sig nede i jordskorpen, hvor temperaturen i øvrigt kan være højere end visse mineralers (apatit) lukningstemperatur.

Når en intrusion nede i jordskorpen er afkølet til omgivelsernes temperatur, standser afkølingen medmindre både intrusionen og dens omgivelser hæves. Afkølingen løber da til ende, når erosionen blotlægger intrusionen i overfladen.

Fissionsspor-metodens fordel er, at den kan fortælle, hvor længe siden det er, at et bestemt mineral afkøledes under sin lukningstemperatur. Da forskellige mineraler har forskellige lukningstemperaturer, er der i det nævnte eksempel

mulighed for at beregne hævningshastigheden, når temperaturfordelingen i jordskorpen er kendt eller antages kendt. Det er i Østgrønland gjort ved hjælp af zirkon- og apatit-dateringer, og for den centrale del af Kangerdlugssuaq-domen fandtes hævnningen gennemsnitligt at have været 100-200 m per million år forudsat en temperaturstigning med dybden (den geotermale gradient) på ca. 30°C per kilometer (se figur 3).

I det øverste diagram i figur 3 ses afkølingen af de intrusioner, der ligger centralt indenfor domet, at have forløbet langsomt fra ca. 200°C og nedefter. Det skyldes, at disse intrusioner dannedes på stort dyb, og først blev kølet helt ned i takt med, at erosionen fjernede de overliggende bjergarter. I det nederste dia-



Figur 3. Diagrammer visende afkølingsforløbet for de daterede terticære intrusioner. Øverst (A) intrusioner fra domens centrale del, nederst (B) fra domens ydre del. Efter Brooks og Gleadow (1979). Tid i millioner år.





Figur 4. *Vue over Kangerdlugssuaq-domen set fra fly i ca. 3000 m højde over indre del af Kangerdlugssuaq, som er fyldt med isbjerge kælvet fra gletscheren i bunden af fjorden (til venstre for billedranden). De op til 2800 m høje fjelde nordøst for fjorden består af gnejs, der er fremeroderet i domens centrale del. I baggrunden skimtes ovenliggende plateaubasalter i de næsten 4000 m høje Watkins Bjerge. Foto C.K. Brooks.*

gram (figur 3) ses afkølingsforløbet for intrusioner, der størknede på højere niveauer og længere fra domets centrum. Her har omgivelserne været koldere, og afkølingen er løbet hurtigere til ende.

Disse tolkninger bygger på, at de forskellige intrusioner alle har haft normale eller jævne afkølingsforløb. Hvis en intrusion udsættes for genopvarmning og kommer tæt på et dateret minerals lukningstemperatur, vil en fissionsspor-datering af mineralet vise en blandingsalder, da de fissionsspor, der tælles, dels består af ikke helede spor fra før genopvarmningen - og dels af spor, der er dannet i tidsrummet efter genopvarmningen. Normalt kan disse to typer spor ikke skilles. Kun ved at datere tilstrækkelig mange mineraler med forskellige lukningstemperaturer, kan man få punkter nok til at tegne helt sikre afkølingskurver.

De fortsatte undersøgelser ved hjælp af fissionsspor-metoden forventes derfor at kunne give et mere detaljeret billede af de vertikale jordskorpebevægelser, som i Østgrønland ledsagede dannelsen af den tertiære kontinentalrand.