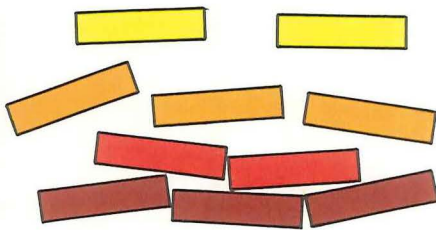


# magmatiske sedimenter



af J. Richard Wilson og Niels Nybo Jakobsen

En række magmatiske bjergarter fremviser nogle bemærkelsesværdige strukturer, der i den grad ligner sedimentære aflejrings- og erosionsstrukturer, at man ved første øjekast skulle tro, at man stod overfor en sedimentær bjergart - og ikke en magmatisk bjergart dannet ved størkning af en bjergartssmelte ved ca. 1000°. Sådanne 'sedimentære' strukturer ses ofte i magmatiske bjergarter dannet ved størkning af en bjergartssmelte i et magmakammer 5-15 km nede i skorpen, og resulterende i det geologer kalder lagdelte intrusioner.



*Figur 1. Modal lagdeling i Fongen-Hyllingen komplekset. De vigtigste mineraler er plagioklas (hvid) og olivin og pyroxener (brun). Højden af billedet ca. 10 m.*

*Figur 2. Varierende indhold af lyse og mørke mineraler giver bjergarten et rytmisk udseende, den viser "rytmisk lagdeling". 4 rytmiske enheder ses midt i billedet, og hver enhed er dannet af nederst pyroxen, der er mørk, og med et stigende indhold af plagioklas (lyst) opefter i hver enhed.*



De fleste lagdelte intrusioner er størknet fra en smelte af basaltisk sammensætning og består nu af gabbro-bjergarter, domineret af mineralerne plagioklas og pyroxener og med normalt mindre og varierende mængder af mineraler som olivin, oxider og apatit. Skærgaard-intrusionen i Østgrønland er et eksempel på en sådan lagdelt intrusion, og er vel nok den mest undersøgte i verden. I denne artikel skal vi se lidt på nogle af disse sedimentære strukturer i lagdelte intrusioner. Eksemplerne er dog ikke taget fra Skærgaard-intrusionen, men fra en lagdelt intrusion i Nordnorge, Fongen - Hyllingen intrusionen, hvor de samme strukturer er dannet.

#### Lagdeling og sedimentære strukturer i intrusioner

I felten viser de magmatiske bjergarter i lagdelte intrusioner ofte en tydelig lagdeling, der skyldes variationer i bjergarternes lyse og mørke mineraler (fig. 1) og som kaldes "modal lagdeling". Af og til kan denne lagdeling være meget regelmæssig og benævnes da "rytmisk lagdeling" (fig. 2). Disse lagdelte bjergarter giver tilhørende intrusioner en udpræget stratigrafisk karakter, og enkelte lagdelte enheder i en intrusion kan i nogle tilfælde følges over afstande på flere kilometer. Oftest bliver de enkelte lag dog brudt over, forgrener sig, eller kiler ud og forsvinder over afstande af nogle meter (fig. 3). Andre strukturer af sedimentær karakter i lagdelte intrusioner omfatter "sæk og pude strukturer" (se VARV 1981, nr. 3), ligesom strukturer der ligner sedimentære ud-



*Figur 3. De enkelte lag forgrener sig ofte eller slutter ved udtyndning af de enkelte lags tykkelse.*

fyldningstrug er almindelige. Selv strukturer, der viser erosionsfænomener, kan tydeligt ses (fig. 4), og analogien til sedimentære bjergarter er her uomtvistelig.

Observationer som omtalt ovenfor har gjort, at geologer traditionelt har antaget, at mekanismerne ved dannelse af lagdeling i magmatiske intrusioner ligner de sedimentære processer, der er aktive under dannelsen af vandaflejrede, klastiske sediment. Strukturerne i lagdelte intrusioner er da også vanskelige at forklare uden at tage hensyn til, at kraftige strømme har fundet sted i magmaet langs magmakammerets bund og sider. Men hvor langt sammenligningen med sedimentære processer egentlig holder er et meget omstridt emne indenfor magmatisk petrologi.

Indtil for ganske nylig var det almindeligt accepteret, at (modal) lagdeling dannedes ved bundfældning af krystaller fra et magma i cirkulations-bevægelse (konvektion) i magmakammeret. Hvert enkelt lag af krystaller afspejlede således en vægtfylde-betinget bundfældning og akkumulation af krystaller, der var blevet ført med konvektionsstrømme i magmaet til bunden af magmakammeret og bundfældet der.

Der er dog nu en stigende mængde observationer, der tyder på, at en sådan



*Figur 4. Diskordante lagforhold i Fongen-Hyllingen komplekset. Eroderende strømning i magmakammeret synes at være den eneste sandsynlige forklaring på sådanne strukturer. Opad er til venstre i billedet.*

bundfældning ikke kan forklare dannelsen af alle lagdelte bjergarter. Krystaller af plagioklas udgør således ofte en stor del af de lyse dele af de lagdelte bjergarter, men eksperimenter har vist, at plagioklas krystaller IKKE vil kunne synke til bunds i et magma af basalt sammensætning. De er simpelt hen ikke tunge nok, ja, deres vægtfylde vil endda normalt være mindre end magmaets vægtfylde. I felten ses det endvidere hyppigt, at lagdeling også er dannet på flader, der oprindeligt var stejltstående og lodrette, hvilket også vanskeligt kan forenes med en vægtfylde-kontrolleret bundfældning af krystallerne. Sådanne observationer har derfor - sammen med resultater af undersøgelser af lagdelte bjergarter under mikroskop og i laboratoriet - medført, at andre teorier for dannelsen af lagdelte bjergarter er blevet fremsat. Mange geologer regner således nu med, at mineralerne i de enkelte lag i stedet for at være blevet ført med magmaet rundt i magmakammeret og bundfældet nær dets bund er dannet og vokset på selve stedet ("in situ") hvor laget er. De forskellige mineralogiske sammensætninger i de forskellige lag skyldes efter denne teori små svingninger i kemisk sammensætning og temperatur i magmaet, svingninger der er tilpas systematiske til at kunne danne disse ofte meget regelmæssige lag.

Selv om de nyere teorier kan forklare en hel del af dannelsen af lagdeling i lagdelte intrusioner, fremgår det også af de viste eksempler på strukturer, at der

kan herske meget ustabile betingelser i den delvis størknede krystalmasse i et sådant magmakammer. Årsagerne hertil kan der ofte kun gættes på, men eksempelvis vil ophobning af krystaller på en let skrånende flade i et magmakammer kunne føre til en rutchen nedad bakke af et sådant krystallag. Sådant et skred kunne måske udløses af spændingsaflastninger ("mini-jordskælv") i magmakammerets omgivelser. Sådanne strukturer i lagdelte intrusioner (fig. 5) ligner meget de sedimentære strukturer, der ses i sedimentære bjergarter som turbiditter. Normalt vil årsagen til dannelsen af sådanne strukturer i lagdelte intrusioner være vanskelige at finde, men i sjældne tilfælde giver feltobservationer tydeligt svaret. Et sådant eksempel fra Fongen-Hyllingen intrusionen vil kort blive beskrevet i det følgende.

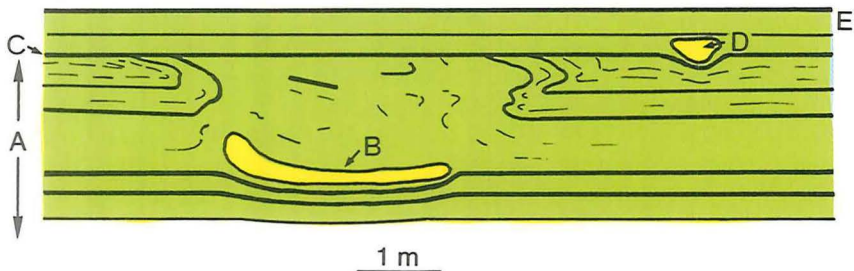
#### En "slump"-struktur i en lagdelt intrusion

Under feltarbejde i Fongen-Hyllingen intrusionen fandtes tydelige "slump"-strukturer, med deformation og oprivning af allerede dannede lag på en enkelt lokalitet. Blotningen er vist i fig. 6 og findes ca. 3 km over bunden af en 3800 m mægtig serie af lagdelte bjergarter, der menes dannet ved størkning af et enkelt magma. Afstanden til toppen af magmakammeret kendes ikke med sikkerhed, men må være mellem 800 og 1600 m over den viste blotning. De lagdelte bjergarter på blotningen består hovedsageligt af mineralerne olivin og plagioklas sammen med mindre mængder af pyroxener og oxider. Lagdelingen ses at være blevet kraftigt forstyrret af to xenolitter, fremmede bjergartsklump-



Figur 5. "Slump"-strukturer i lagdelt gabbro.

er, B og D i figuren. Disse xenolitter synes at være klumper af de bjergarter, der dannede magmakammerets loft, som er blevet revet løs og er faldet ned i magmakammeret. Handlingsforløbet er ikke svært at rekonstruere.



Figur 6. Skitse af lokalitet visende "slump"-struktur. Itubrudt, foldet og sammenfalden lagdeling (A) omkring xenolit B. En anden mindre xenolith D har trykket det underliggende lag C lidt ned, medens de senere lag E er uforstyrrede. Lagene hælder ca.  $30^{\circ}$ , så deres reelle tykkelse er ca. 20 % mindre end vist på skitsen.

På det tidspunkt xenolit B nåede stedet for blotningen var lagene angivet med A blevet dannet, men xenolitten er sunket ned gennem magmakammeret med tilstrækkelig stor hastighed til at kunne gennembryde den ikke helt størknede lagpakke A til en dybde af ca. 1.2 m og skabe en del ravage. Det ophvirvlede materiale fra dette nedslag har antagelig dannet en sky af krystaller over bunden, men det efterfølgende lag C ses at være meget regelmæssigt og uden spor af det ophvirvlede materiale, hvilket kan betyde at strømme har fjernet det fra stedet og efterladt en jævn overflade før laget C blev dannet. Efter dannelsen af det ca. 2.5 cm tykke lag C ramte en ny xenolit D bunden med en hastighed, der ikke var stor nok til at slå laget i stykker, men nok til at forstyrre det til ca. 20 cm's dybde. De efterfølgende lag (E) er uforstyrrede og dannelsen af dem kan derfor antages at være foregået i fred og ro.

De to xenolitter har samme sammensætning, så det er forskellen i størrelse, der har forårsaget de forskellige resultater af deres nedslag, og selv om det er vanskeligt, kan det være fristende at forsøge at sætte nogle tal på de involverede processer:

Hastigheden hvormed sådanne xenolitter falder ned gennem et magma kan beregnes ud fra Stoke's lov. Hastigheden afhænger af sådanne størrelser som vægtfylden af både xenolitter og magma, viskositeten af magmaet og af xenolitternes størrelse. Stoke's lov gælder kun for kugleformede legemer, hvilket ingen af de to xenolitter kan beskyldes for at være, så allerede her vanskeliggøres sådan

en beregning. Ligeledes kendes størrelsen af de andre parametre i ligningen og så kun med en vis nøjagtighed, så beregninger som disse er behæftet med en ofte stor usikkerhed, men viser at xenolit B er sunket ned gennem magmakammeret med en 10 gange så høj hastighed som xenolit D. Xenolit B kan være faldet ned gennem magmaet med en hastighed på ca. 50 cm i sekundet. Det betyder, at xenolit B vil have været omkring en halv time om at synke fra loftet af magmakammeret ned til dens nuværende plads, medens xenolit D vil have været ca. 10 gange så lang tid om det. Så hvis de to xenolitter begyndte at synke ned ad på samme tid må laget C derfor være blevet dannet i løbet af 4-5 timer.

Tilsvarende beregninger som de her foretagne på andre lagdelte intrusioner giver andre resultater. Medens resultaterne fra Fongen-Hyllingen intrusionens xenolitter siger, at dannelsen af det 2.5 cm tykke lag C kun tog 4-5 timer, viser tilsvarende udregninger fra Skærgaard-intrusionen, at en tilsvarende lagtykkelse ville være omkring 45 dage om at blive dannet. Sådanne forskelle i resultater viser, at en række af de processer, der er involveret i bjergarternes dannelse, endnu ikke helt kan sættes på formler og give entydige svar.

Måske er noget af charmen for en geolog ved at arbejde med plutonske bjergarter, at processerne ved deres dannelse ikke kan observeres medens de foregår. Dette giver dog plads for spekulation, teorier og kontroverser. Oprindelsen af lagdelte intrusioner er et af den magmatiske petrologis omstridte emner.



*Figur 7. Lodretstående enhed, der viser lagdeling i fin skala fra Fongen Hyllingen - komplekset. Til højre for hammeren ses et ca. 3 cm tykt bølgende lag, der danner underlaget for små truglignende strukturer. Opad er til venstre. De mørke lag består hovedsagelig af lettere omdannet (serpentiniseret) olivin, og de lysere lag fortrinsvis af den mere modstandsdygtige plagioklas.*