

Geologiskt forum

Kaldera

Jordens mest våldsamma process



Askja

*utbrotten och den
stora kalderan* 4

Atlantis

*verkligheten bakom
myten?* 12

Smaragdit i alperna 18

Geovetenskapen och miljön 26

Den osynlige geologen?

Två artiklar i detta nummer av *Geologiskt forum* handlar om den mest våldsamma process som jorden själv kan åstadkomma, nämligen bildningen av en kaldera. På Island har kalderor bildats i historiskt tid (se artikeln på sidan 4) och de kommer troligen att ske igen. Geologin är i högsta grad närvarande på Island och väl känt av allmänheten. Kalderor finns även på närmare håll, nämligen i Norge, i det som kallas Osloriften. Dessa är dock uppemot 280 miljoner år gamla och döda sedan länge. Den norska oljeindustrin, som genererar både arbete och forskningsmedel till geovetenskapen, gör dock att de flesta normmän vet vad geologer sysslar med. Ser vi på vårt östra grannland så är geologi inte ett totalt okänt ämne hos befolkningen. Detta kan bero på att i Finland bedrev både staten och gruvbolagen en aktiv prospekteringspolitik (åtminstone till alldeles nyligen). Faktum är att vi i Sverige, med en stabil berggrund och en gruvindustri som i stort sett lämnat över prospekteringen efter malm till utländska aktörer, kanske har lägst andel geologer av befolkningen i de nordiska länderna. Geologin som ämne är också relativt okänt hos allmänheten. De flesta fältarbetande geovetare som kommit i kontakt med ortsbefolkning (gruvdistrikten möjligen undantagna) vet vilka frågande miner och underliga missförstånd som uppstår då man förklarar att man är geolog. Okunskap om geovetenskapens möjligheter bland allmänheten kanske betraktas som ett rent akademiskt problem, men vi har vid flera tillfällen de senaste åren sett konsekvenserna av denna okunnighet bland beslutsfattare. Det räcker egentligen med att exemplifiera med några geografiska namn; Hallandsåsen, Vagnhärad, Tranebergsbron... för att man ska förstå vilken viktig resurs geovetenskaplig kunskap är för samhället. Bland geovetare är detta känt sedan länge, och vi predikar gärna för våra närmaste att hade bara geovetare varit inblandade på tidigare stadier så hade både Hallandstunneln och Tranebergsbron varit färdigbyggda nu. Inget fel i det. Det är nog helt riktigt att hade geologiska hänsyn tagits redan på ett tidigt stadium vid planeringen, hade vi inte fått de svåra grundvatten- eller akrylamidproblemen. Men, och det är hela poängen med denna ledare, hur många utanför vår krets känner till detta? Vet jordbrukaren på Hallandsåsen som fick sin brunn torrlagd och förgiftad att geologiska hänsyn troligen hade besparat honom problemen? Jag tror inte det. Vi har varit för dåliga att sprida vår kunskap utanför våra egna kretsar. Geovetare i Sverige har länge haft mantrat "*Bara geologi blir ett skolämne på gymnasiet så...*" Detta skulle leda till en ökad medvetenhet om geologins betydelse hos allmänheten. Detta skulle i sin tur leda till fler jobb för geovetare, mer forskningsmedel samt både bättre och säkrare tunnlar och broar, men detta lär inte ske på ett inom överskådlig tid. Vi måste finna andra vägar. När Svenska Nationalkomittén för Geologi initierade det som blev Geologins dag togs ett första steg för att öka kunskapen om geologi i samhället, men det räcker inte med det. Alla vi aktiva i branschen måste hjälpa till att uppmärksamma geologins betydelse. Det behöver inte vara mycket, bara att då och då påminna samhället om att det faktiskt finns något som heter geovetenskap.

Joakim Mansfeld



Omslagsbilden

Lavafontäner ut kratrana Vikraborgir under utbrottet 1961 i Askja, fotograferat av Halldór Ólafsson. Mer om vulkanutbrott i Askja i artikeln av Sturkell på sidan 4.

Geologiskt forum (startår 1994) publicerar populärvetenskapliga artiklar inom geologins alla områden. Den informerar om litteratur, händelser och personer med geologisk anknytning, och är ett forum för åsikter och debatt.

Geologiskt forum utges av Geologiska Föreningen (Sveriges riksförening för geologi), sedan 2001 med ekonomiskt stöd från SGU och i samarbete med följande föreningar:

Bergslagens Geologiska Sällskap (BGS)
Göteborgs Geologiska Förening (GGF)
Hallands Geologiklubb (HGK)
Tunabygdens Geologiska Förening (TGF)
Upplands Geologiska Sällskap (UGS)
Västerbottens Amatörgeologer (VAG)

Tidskriften ingår i det ordinarie medlemskapet i Geologiska Föreningen (ang. medlemskap se sista sidan). Lösnummerpris är 40 kr.

Redaktionsråd:

Jan Bergström (GF), Holger Buentke (GF), Christer Carlberg (HGK), Ingemar Cato (GF), Rolf Frankenberg (UGS), Emil Gregori (TGF), Dan Holtstam (GF), Antti Hultström (VAG), Mikael Jansson (BGS), Erik Mofjell (GGF).

Redaktör och ansvarig utgivare:

Joakim Mansfeld

Redigering och layout:

Joakim Mansfeld

Foto och illustr. (om inte annat anges):

Joakim Mansfeld

Redaktionen adress:

GF:s redaktion, institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel 08/674 7727, fax 08/164424
gff@sgu.se; www.sgu.se/gf/geolf

Prenumerationsärenden, adressändring och köp av tidigare nummer, kontakta: Swedish Science Press, Box 118, 751 04 Uppsala tel 018/365566, fax 018/365277, e-post info@ssp.nu

postgiro 489 78 50-6, bankgiro 914-4601
Prenumerationspriset för år 2002 (4 nr) är 140 kr.

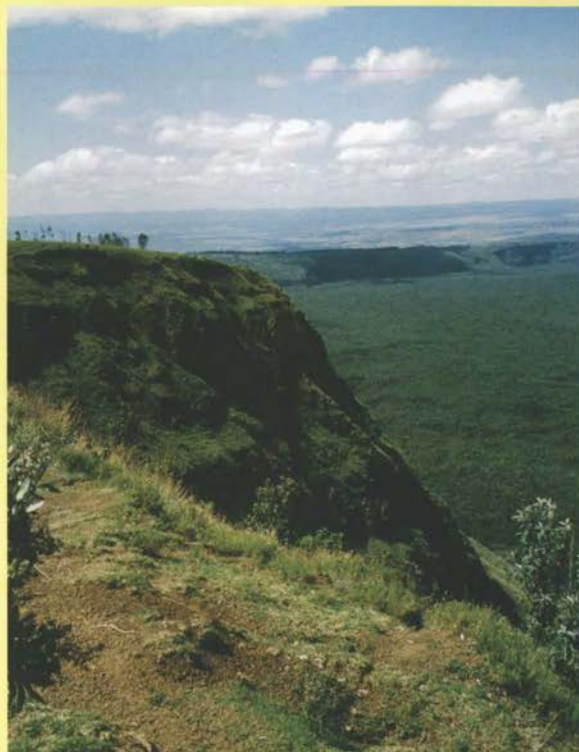
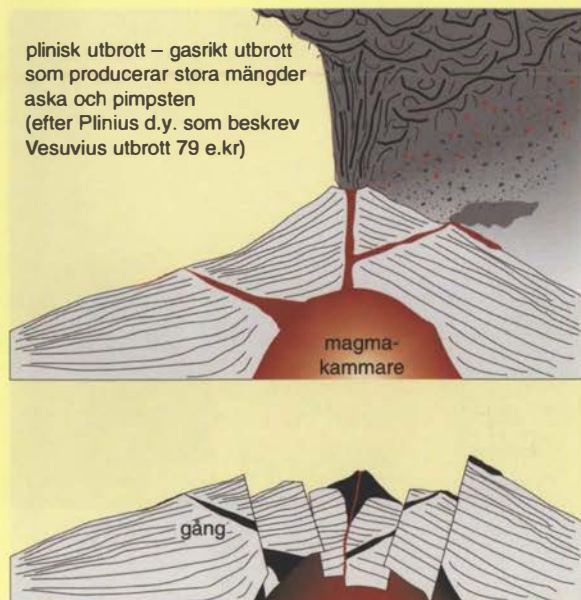
Gf sammanställs på en Macintoshdator med hjälp av bl.a. Microsoft Word®, Adobe PageMaker®, Adobe Photoshop® och Adobe Acrobat®. Den överförs till pdf-format och trycks av Alfa Print i Sundbyberg i ca 1800 ex. och distribueras av Swedish Science Press.

Annonser mottages gärna. Kontakta redaktören för uppgifter om digitala format, storlekar och priser.

ISSN 1104-4721

Kaldera – spåren efter jordens mest våldsamma process

En kaldera kan bildas i samband med stora vulkanutbrott då en vulkans magmakammare mer eller mindre töms genom mycket stora utbrottsvolymmer av antingen lava, aska, eller pimpstenseruptioner, eller genom bildning av gångintrusioner i omgivande berggrund. Detta instabila tillstånd resulterar i att magmakammarens tak störtar in och en mer eller mindre cirkulär struktur uppstår. Denna, *kaldera*, kan bli upp till några tiotals kilometer i diameter. Den mest kända kalderan är kanske den som bildades efter Krakataus utbrott år 1883.



Ovan; principskiss för hur en (kollaps-)kaldera bildas.
Till höger; Menengai-kratern vid Nakuru i centrala Kenya. Ett exempel på en kaldera bildad i den Afrikanska riften (kontinentala spridningszonen).

Ordförklaringar på ett urval ord och uttryck som inte förklaras närmare i respektive artikel.

aa-lava	Trögflytande lava, bildar ofta storblockiga lavafält	olivin	Mineralgrupp med forserit, Mg, SiO_2 och fayalit, Fe, SiO_2 . Vanligt mineral i basiska och ultrabasiska bergarter
albit	Idealt $NaAlSi_3O_8$, natriumändledet i plagioklasserien	omfacit	Amfibol bildad genom metamorfos vid högt tryck
amfibolit	Metamorf bergart huvudsakligen bestående av amfibol	pahoehoe-lava	Replava, lava som tack vare sin låga viskositet stelnar i mjuka replikande former
anortit	Idealt $CaAl_2Si_2O_8$, kalciumändledet i plagioklasserien	Paleozoikum	Den era i jordens historia för 545–250 miljoner år sedan som omfattar perioderna kambrium, ordovicium, silur, devon, karbon och perm.
augit	$(Ca, Na)(Mg, Fe, Al, Ti)(Si, Al)_2O_6$, pyroxen, vanligaste pyroxenen i basiska magmatiska bergarter	ryolit	Kvartsrik (sur) vulkanisk bergart. Hög viskositet och högt gasinnehåll ger ofta explosiv vulkanism
basalt	Basisk vulkanisk bergart. Ofta lättflytande och med lågt gasinnehåll	plagioklas	Mineralgrupp i fältspatsgruppen som bildar en kemiskt kontinuerlig serie från albit till anortit
dacit	Sur-intermediär kalciumrik lava. Kan ge upphov till explosiv vulkanism pga dess trögflytande karaktär och stora gasinnehåll	rutil	Idealt TiO_2 . Bildas oftast genom metamorfos av andra titanhaltiga mineral
diopsid	Idealt $CaMgSi_2O_6$, kalciumpyroxen som oftast bildas genom metamorfa processer i basiska bergarter	serpentin	Bergart bestående av serpentin – ett glimmerliknande magnesiumsilikat som bildas genom hydrotermal omvandling av främst olivin
dunit	Ultrabasisk bergart härrörande från manteln. Består mest av magnesiumrik olivin	skolla	(Överskjutnings-), block av bergarter som skjuts upp och transporteras horisontellt långa sträckor (tiotals kilometer). En process som sker i samband med plattkollisioner och bergkedjeveckningar.
eklogit	Metamorf bergart bildad ur basiska bergarter under högt tryck men ej särskilt hög temperatur, typisk för subduktion. Består av granat och pyroxen (omfacit)	spridningszon	Plattekonisk process där plattor glider isär och nybildad oceanbottenskorpa bildas emellan dem
fenokryst	Ströckorn, större mineralkristall i en finkornigare matrix i magmatisk bergart	subduktion	Plattekonisk process där en platta pressas ned under en annan platta
gabbro	Basisk intrusionsbergart huvudsakligen bestående av pyroxen, plagioklas och eventuellt olivin	talk	Mineral i glimmergruppen som bildas genom måttlig metamorfos av magnesiumrika bergarter
glaukofan	Amfibol bildad genom metamorfos vid högt tryck	tefra	(Isländska) generell term för fasta utbrottsprodukter, pyroklastika, vid ett vulkanutbrott
gnejs	Bandad bergart bildad genom kraftig metamorfos. Ursprungsbergart varierar och kan vara svårt att bestämma.	tremolit	Amfibol bildad vid metamorfos av basiska bergarter eller vid metasomatiska reaktioner med kalksten
hornblände	$Ca, (Fe, Mg), Al(Si, Al)_3(OH, F)_2$, Amfibol, mycket vanlig i både magmatiska och metamorfa bergarter	zoisit	Mineral i epidotgruppen. Bildad vid lågtemperatur-metamorfos av kalciumrika bergarter och mineral.
klorit	Vanligt glimmermineral som bildats genom omvandling av basiska bergarter vid låga till måttliga temperaturer		
kyanit	Idealt $Al_4Si_3O_{10}(OH)_2$, Mineral bildad genom metamorfos vid högt tryck av aluminiumrika bergarter (t.ex. lerskiffer)		
labrador	Tillhör plagioklasserien; 50–70 % anortithalt		
obsidian	Vulkaniskt glas		

Askja

*Askja är idag det isländska ordet för kaldera.
Ursprungligen betecknade ordet askja en behållare
eller skål. Nu är askja en kaldera och Askja är
kalderan i Dyngjufjöll.*

AV ERIK STURKELL

Askja ligger i den norra vulkanzonen, norr om Vatnajökull (figur 1) mitt i den aktiva riftzonen på det isländska höglandet. Vulkanismen i Dyngjufjöll (figur 2) har pågått i mellan 200 000 och 300 000 år. Vulkanen är uppbyggd av både subaeriella och subakvatiska eruptionsprodukter. Askja (figur 3) har idag tre kalderor; den äldsta i nord är närmast helt fylld av lavaflöden. Nästa är en stor postglacial kaldera, 8 km i diameter och med en areal av 50 km². Den senaste kalderan, som bildades vid utbrottet år 1875, är 4,5 km i diameter och har en areal av cirka 11 km². Den sistnämnda är idag till största delen vattenfylld och bildar sjön Öskjuvatn, vars vattenyta ligger 50 m lägre än botten på den stora kalderan. Med sina 224 m är denna sjö Islands djupaste.

Som faktaunderlag har jag framförallt använt artiklar och böcker skrivna av Ólafur Jónsson (1962), Sigurður Þórarinnsson (1963 och 1971), Bryndís Brandsdóttir (1992), och britten William Lord Watts reseskildring från år 1875 (i Jón Eyþórssons översättning 1962).

I litteraturen och på kartor förekommer olika namn på samma geografiska platser i området. Därför behövs ett försök att klargöra terminologin. Bergmassivet heter idag Dyngjufjöll. Detta namn introducerades av Þorvaldur Thoroddsen i slutet av 1800-talet. Þorvaldur tillhör de stora geologiska fäderna på Island, men han rörde till geografien i området en del. Möjligen var det någon annan som rörde till det, men det blev Þorvaldur som bevarade felen i tryck. Dagens Dyngjufjöll hette förut Trölladyngja och Kverkfjöll hette Dyngjufjöll fremri

och Herðubreiðarfjöll hette Dyngjufjöll ýtri. Þorvaldur använde inte de gamla namnen utan organiserade om geografien så att skjöldvulkanen Skjaldbreiður 20 km sydväst om Askja döptes om till Trölladyngja och namnet Dyngjufjöll lanserades.

Från vikingatiden fram till reformationen (slutligen genomförd år 1550 i och med halshuggningen av den sista katolska biskopen Jón Arason) färdades folk ofta över höglandet och med all säkerhet besökte de också Askja. Inget av detta finns dock dokumenterat i skrift. Färderna över höglandet avtog med den klimatförsämring som ägde rum under 1300-talet, och i och med reformationen, då samhällsstrukturen ändrades, upphörde dessa färder helt. Kunskapen om höglandet



Figur 1. Översiktskarta över Island

tynade då bort och en vit fläck uppstod på kartan. Efter 1500-talet var det endast de fredlösa som gömde sig på höglandet som kände till det någorlunda i detalj. Om en fredlös kunde hålla sig undan i 20 år blev brottet avskrivet och han (det fanns även fredlösa kvinnor) kunde inte längre dräpas ostraffat. Den mest kände fredlöse var nog Eyvindur Jónsson (senare kallad Fjalla-Eyvindur) som lyckades överleva mer än 20 år på höglandet. Hans brott var att inte komma till sitt eget bröllop och bruden lämnades ensam vid altaret. Detta var allvarligt i mitten av 1700-talet, och eftersom brudens far var en man med viss makt såg han till att Eyvindur blev förklarad fredlös. Eyvindur byggde sig ett flertal olika "bostäder" runt om på höglandet, oftast i lavagrottor med rinnande vatten. En av hans större bostäder låg i Lindálavan invid Herðubreiðarlindir (figur 2). Han hade ingen "bostad" i Askja men passerade området vid upprepade tillfällen.

Den första dokumenterade färden till Dyngjujöklsområdet gjordes sommaren 1830 då bönder från Mývatnsområdet var på jakt efter färtjuvar (fredlösa) i grannskapet. De kom enligt utsago emellertid inte in i Askja. År 1838 genomförde lantmätaren Björn Gunnlaugsson och guiden Jón Austmann en expedition till Askja. När de kom fram lade sig en så tät dimma att de nästan inte såg någonting och möjligheten att göra en korrekt karta omintetgjordes helt. De fick vända om och under stora vedermödor ta sig ut genom Öskjuop (Askjaöppningen) i dimman. Björn Gunnlaugsson tryckte år 1844 den första moderna Islandskartan med detaljrikedom i bebyggda områden och en detaljerad kustlinje. Höglandet behandlas mera översiktligt och Askja avbildas på hans karta som en dalgång, ty detta vad var han såg på väg in i Askja under färden genom Öskjuop, som är en dalgång (figur 3). Väl inne i Askja blev han insvept i dimma och såg inte den storslagna kalderan.

Utbrottet 1875

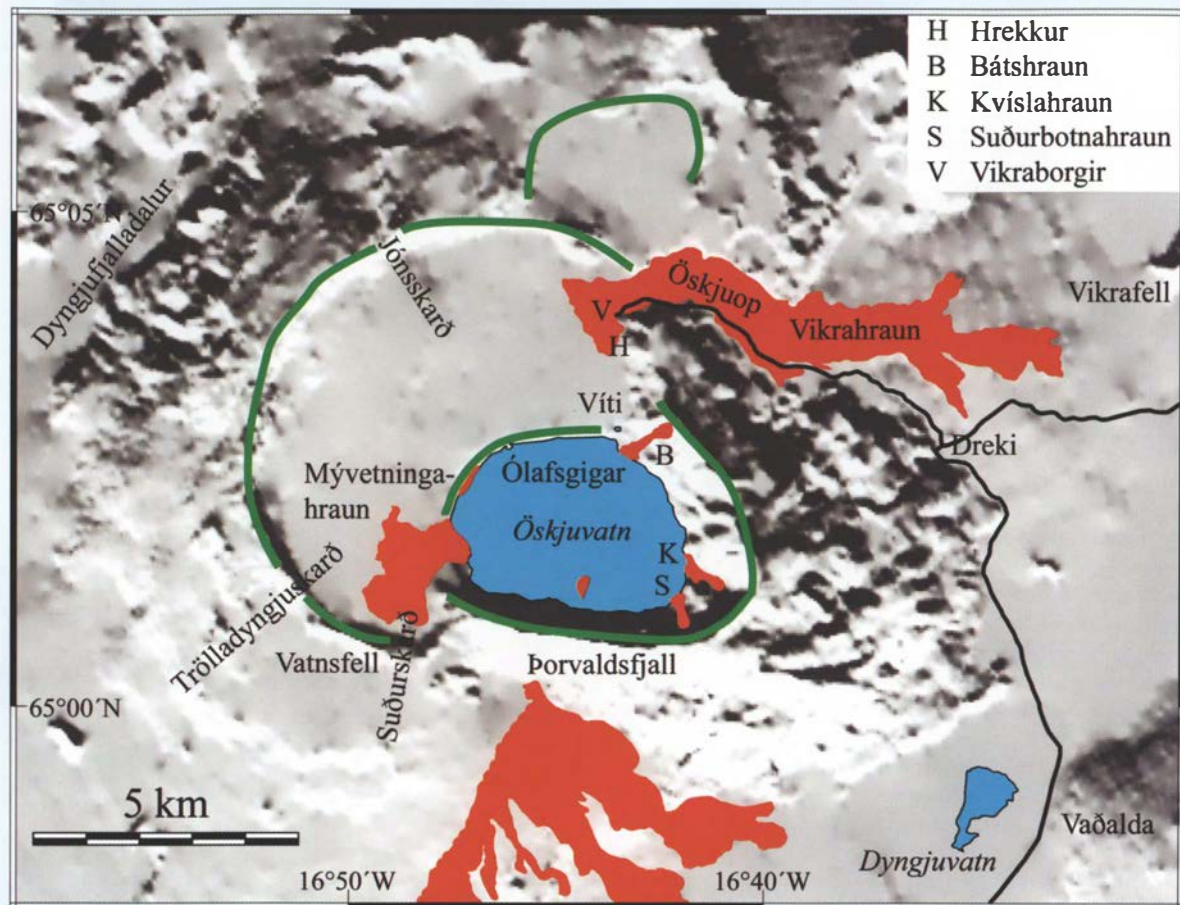
På förmiddagen den 30 mars 1875 gick två herrar över Gustav Adolfs torg i Stockholm och märkte de att deras svarta rockar hade blivit grå. Samma dag upptäckte en trädgårdsmästare på Södermalm att glaset i hans växthus hade blivit så smutsigt att solljuset knappt kunde tränga igenom. Folk noterade att skenet från gaslyktorna längs stadens gator var diffust p.g.a. alla partiklar i luften. På den norska västkusten gjordes observationer under kvällen den 29 mars, att fönster och väggar täcktes av ett grått sikt. Under natten och följande dag gjordes liknande observationer på många platser i södra Norge, t.ex. att snön blev grå och att folk klagade på irritation i ögonen. Det tog tre veckor innan skeppet Diana anlöpte Köpenhamn och kunde sprida nyheten om ett vulkanutbrott i Askja.

Vulkanutbrottet år 1875 är det första som har observerats i Askja medan det pågick. Genom studier av



Figur 2. Karta över delar av den norra vulkanzonen på Island med namn som förekommer i texten.

asklager har Gudmundur Sigvaldason tillsammans med Nordvulk-stipendiaterna Kristian Annertz och Magnus Nilsson kunnat påvisa att det inte har varit något större utbrott i Askja sedan åtminstone år 1477. Botten av den stora kalderan täcks till stora delar av ett lavaflöde bildat under en eruption vid kalderans västra delar. Denna lava överlagras direkt av en aska från Veidivötn-eruptionen år 1477, Denna aska kallades tidigare lager "a", eftersom askans ursprung inte var klarlagt. Lavan vilar på en Hekla-aska från år 1158. Detta ger ett tidsintervall för eruptionen från 1158 till 1477, Nuvarande uppfattning är



Figur 3. Karta över Dyngjujökull med de tre kalderorna, markerade i grönt och lavaflödena från nittonhundratalet i rött. Vägnetet är draget i svart och det finns en turiststuga i Dreki.

att utbrottet troligen ägde rum närmare år 1477 än år 1158.

Den första indikationen på att Askja började vakna kom de första dagarna i februari 1874, då osedvanligt kraftiga ångmoln syntes från Dyngjujökullsområdet. Under hösten samma år bildades ett flertal nya sprickor i den nordligaste delen av Askjas vulkansystem. Under de följande månaderna vidgades dessa sprickor, och med sprickbildningen följde en ökad seismisitet i området. Under den senare delen av december 1874 tilltog jordskalvsintensiteten och den var kännbar i hela norra och östra Island. Aktiviteten nådde ett maximum den andra januari 1875. Någon dag tidigare hade folk i Mývatnområdet sett ångmoln stiga upp från Askjaområdet. Den tredje januari såg man en eruptionspelare i riktning från Askja. Detta var inledningen till det största utbrottet i Askja under historisk tid på Island. På östra Island observerades två eruptionspelare stigande upp från höglandet samma dag. En av dessa kom tveklöst från Askja medan den andra eruptionspelarens ursprung inte har gått att säkerställa. De följande dagarna var det

molnigt och inga observationer gjordes och den seismiska aktiviteten avtog. Folket på gården Grímstaðir kände dock ett flertal kraftiga skalv dessa dagar. I början av februari kändes i Bárðardalur och Mývatnområdet flera kraftiga skalv. Den 16 februari begav sig fyra bönder från Mývatnområdet in till Askja. De rapporterade om en intensiv geotermisk aktivitet och om färskas kratrar i den sydöstra delen av den stora kalderan. Deras berättelse nämner inget om något pågående utbrott i kalderan men om frekvent jordskalvsaktivitet. De observerade en 10–15 m djup insjunkning (maximalt 20 m) av ett 3 till 4 hektar stort område, detta var de första tecknen på den kommande kaldera (figur 5a).

Den 18 februari 1875, startade en sprickerupruption i Sveinagjá cirka 40 km norr om Askja (figur 2). Den 10 mars blev flera delar av eruptionssprickan aktiv. Platsen för den eruptionen låg något norr om den initiala aktiviteten och den 18–19 mars bildades nya eruptionssprickor i den sydligaste delen av Sveinagjá. Under mars månad tycktes huvudaktiviteten röra sig längs hela Sveinagjäsprickan. Detta utbrott åtföljdes av ett flertal

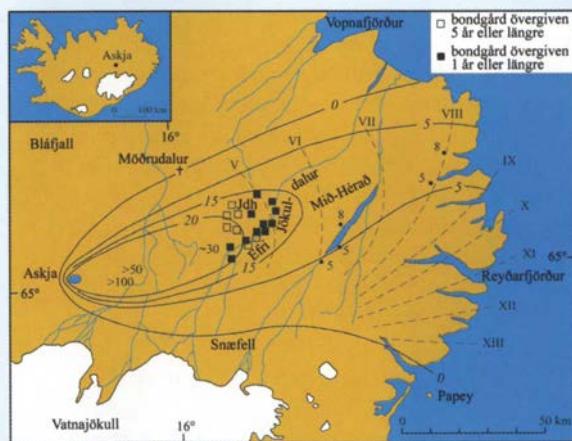
större jordskalv, därav några så stora att folk väcktes ur sin nattsömn i Mývatnområdet. Med utgångspunkt i dessa observationer har man beräknat att magnituden var mellan 4,5 till 5,3 för jordskalven. Den 23 mars kunde man från gården Grímsstaðir (25 km från eruptionen) räkna till 40 aktiva kratrar. Under de första 10 månaderna av utbrottssekvensen skedde elva eruptioner längs Sveinagjá. Utbrottssekvensen fortgick i totalt 2 år. Den basaltiska lavan från Sveinagjá täcker idag en yta av 29 km² och har en volym mellan 0,2 till 0,3 km³.

Påskdagen den 28 mars år 1875 klockan nio på kvällen såg folk i Jökuldal ett svart moln stiga upp från Dyngjufjöll. Detta var uvertyren till ett av de största explosiva utbrott som folk hade upplevt på Island. Det pliniska utbrottet kom tidigt på morgonen den 29 mars; halv fyra på morgonen föll en finkornig ljus aska i Efri-Jökuldal och Mið-Hérað. Efter en timme började himlen klarna något men detta förbyttes i bäcksvart mörker då huvudfasen tog sin början. Pimpstensregnet varade till lunchtid. Då var Efri-Jökuldalur och Jökuldalsheiði täckta av ett 20 cm tjockt pimpstenslager (figur 4). I Efri-Jökuldal var huvuddelen av pimpstenen i grovgrusstorlek men enskilda stycken var av en dubbel knytnäves storlek. Efter utbrottet täcktes ett område av 650 000 km² på östra Island, som såg ut som en gråvit öken. Nedfalls-materialet var ryolitiskt med en SiO₂-halt på 70%. I den stora kalderans östkant (just öster om eruptionskratern) deponerades flera meter av pimpsten. Väster ut avtar pimpstenens tjocklek relativt snabbt men längs dagens Öskjuvatn är det metertjocka lager. Utbrottet skedde i slutet av mars och då var Askja snötäckt. Pimpstenen deponerades på snö och smälte sedan mycket långsamt. Än idag finns det snö kvar från år 1875 i Dyngjufjöll. Det område som drabbades värst av utbrottet var Efri-Jökuldalur och Jökuldalsheiði (figur 4) i Múlasýsla (sýsla = härad) som låg i vindriktningen. I en sammanställning framkommer det att arton gårdar inom 15 cm-isopachen (isolinjer för tefratjockleken) var övergivna i ett eller flera år efter utbrottet (figur 4). Många av de små gårdarna på Jökuldalsheiði (alla gårdar där var små) kunde knappt försörja sina invånare före utbrottet och efter utbrottet var landet draperat av 15 till 20 cm pimpsten. Detta förbättrade inte utkomstmöjligheterna. Det flesta av dessa gårdar övergavs för gott och ett stort antal av invånarna flyttade till nordamerika. Dock höll folket ut några år efter utbrottet vid några gårdar på Jökuldalsheiði just utanför 15 cm-isopachen. Dessa gårdar övergavs några år senare på grund av en tilltagande jorderosion. Det var närvaron av den grovkorniga, skarpkantiga pimpstenen, som vindtransporterades fram och åter, som "slipade" marken och inte gav vegetationen någon chans att överleva. Utflyttningen från Múlasýsla tilltog betydligt åren efter utbrottet. Mellan åren 1875 och 1879 lämnade omkring 800 personer häradet och många av dem flyttade till Nordamerika.

Sekvensen av utbrotten i Askjakalderan är ej känd i

detalj men huvuddragen i händelseutvecklingen är relativt klara. Eruptionen inleddes med en gångintrusion längs den östra kalderakanten. Delar av denna gång nådde ytan och blev till matargång för ett mindre dacitiskt/ryolitiskt lavaflöde. Man kan idag observera delar av detta lavaflöde på stranden av Öskjuvatn nedanför explosionskratern Víti (figur 6). I strandskärningen ligger lavaflödet i basen och överlagras av åtta till nio meter pimpsten. Eruptionskratern ligger längs stranden ungefär mittemellan Víti och den på vintern 1922–23 eruperade Suðurbotnahraun. Frederick Johnstrup observerade år 1876 en obsidiangång djupt nere i kalderan som då var i full gång att bildas. Detta är troligen inte samma gång som bildades år 1875 utan av äldre ursprung. Huvudsprickan för det pliniska utbrottet hade en strykning av ÖNÖ till VSV tvärs över dagens Öskjuvatn. Det var ur denna spricka som även den initiala finkorniga gråvita askan kom. Explosionskratern Víti bildades efter den pliniska eruptionen.

En volymberäkning av den nybildade kalderan ger ett minimivärde på 1,77 km³. Men ett värde som ligger mellan 2–2,5 km³ har föreslagits som mera realistiskt. Det material som lämnade magmakammaren kan indelas i tre grupper; pimpsten, lava och gångintrusion. Volymen av den pimpsten som kom upp under den pliniska utbrottsfasen är cirka 1,8 km³. Volym av denna porösa pimpsten måste emellertid översättas till motsvarande volym av solitt berg för att en balansräkning skall kunna



Figur 4. Utbredningen av den sura tefran eller pimpstenen från det pliniska utbrottet i Askja den 29 mars år 1875. De heldragna linjerna är isolinjer för tefratjockleken angiven i centimetrar, och de romerska siffrorna i anslutning till de streckade linjerna anger tiden i timmar för tefrans utbredning. Det var gårdarna på Jökuldalsheiði (Jdh i bilden) och i Efri-Jökuldal som drabbades värst i utbrottet. Denna naturkatastrof resulterade i emigration till nordamerika. Kartan är modifierad efter Thórarinnsson (1971).



Sommaren 1876 karterades Askja av den danske professorn Frederick Johnstrup och danske marinofficeren G. Caroc. Deras arbete var de första vetenskapliga mätningarna i Askja. Caroc mätte upp den nybildade kalderan, som nu var 7,3 km² samtidigt som en sjö hade bildats i botten av kalderan. Sjön var vid denna tidpunkt 1,2 km i diameter och låg 232 m lägre än botten av den stora kalderan (figur 5c). Vid expeditionen var Björn Björnsson och Jón Þorkelsson guider och det är efter denna Jón som Jónsskarð (figur 3) är uppkallat. Þorvaldur Thoroddsen som vid denna tid var student hos Frederick Johnstrup deltog i expeditionen men han kom inte med in till Askja eftersom han fick stanna på gården Svartárkot i Bárðardalur (figur 2). Þorvaldur Thoroddsen ledde år 1884 tillsammans med Ögmundur Sigurðsson en ny forskningsexpedition till Askja. Då hade sjön stigit med 82 m och var 11 km² (figur 5d) och år 1908 (figur 5e) hade vattennivån stabiliserats på dagens nivå; dvs cirka 50 m lägre än botten av den stora kalderan (figur 5f). Det tog lite drygt 30 år för den nya kalderan att bildas och att få sitt slutgiltiga utseende.

göras. Det finns i litteraturen två olika sätt att göra denna beräkning och dessa har gett 0,43 km³ respektive 0,21 km³. Volymen av den extruderade lavan från sprickan Sveinagjá är mellan 0,2 och 0,3 km³. Gången som bildades från Askja till Sveinagjá är beräknad att vara 1 km hög och 4 meter bred. Med dessa värden har gången en volym av 0.16 km³. Adderar man de maximala talen för de olika volymer som lämnat magmakammaren i Askja blir det 0,89 km³. Detta är endast hälften av den mest försiktiga beräkningen av kalderans volym. Problemet med denna volymförlust är ännu inte löst. Man kan dock spekulera över existensen av en djupare magmakammare och om det också sker en dränering från den grunda magmakammaren under Dyngjufjöll nedåt.

Den mest omtalade forskningsfärden till Dyngjufjöll genomfördes av tre tyskar, Walter von Knebel, Max Rudloff och Hans Spethmanns år 1907. Den slutade i ett än idag olöst mysterium. Det som hände i Askja år 1907 har en inramning i bästa romanstil, som jag emellertid avser att berätta vid ett senare tillfälle.

Vulkanutbrotten under 1920-talet

Vulkanen Askja vaknade åter 1921, och aktiviteten fortgick till de första åren på trettioalet, dock inte kontinuerligt. I mars år 1921 såg man från Mývatn området att något skedde i Dyngjufjöll men aktiviteten dog snabbt ut. Det var en liten eruption som bildade en krater i kalderaväggen, cirka en kilometer öster om Víti. Från denna krater rann ett lavaflöde ner i Öskjuvatn. Den tredje december 1922 färdades tre man från Mývatn området till Askja för att undersöka vad som hade skett. De slog läger vid Víti och fann ett nytt lavaflöde öster därom. Lavan var kall och de tolkade det så att flödet hade bildats i mars året innan. Detta lavaflöde hade runnit ut över båten som bönderna från Mývatns området hade släpat upp till Askja år 1907. Denna omständighet gav upphov till namnet Båtshraun (Båtlavan). Nästa dag fann de en alldeles ny och fortfarande varm (till het) lava i det sydvästra "hörnet" av Öskjuvatn (figur 3). Detta 2,2 km² stora lavafält kom från kratrar längs en böjd spricka vilken är parallell med den sydvästra kanten av 1875 års kaldera. Lavan från denna spricka rann ner i Öskjuvatn och den är döpt till Mývetningahraun efter gruppen från Mývatn som upptäckte flödet. Senare under vintern 1922 till 1923 skedde två små utbrott i den sydöstra delen av Öskjuvatn. Lavaflödena från dessa utbrott heter Kvíslahraun och Suðurbotnahraun (figur 3). På den södra flanken av Dyngjufjöll skedde en sprickerupruption längs en 6 km lång spricka (figur 3). Denna spricka är parallell med spridningsaxeln. Det tunna lavaflödet täcker en yta av 16 km². Utbrottet skedde troligen 1924 men detta är inte säkerställt. Man vet med säkerhet att det skedde i intervallet mellan vintrarna 1922 och 1926 och man misstänker också att ett utbrott skedde i den norra delen av sprickan år 1929. Sommaren 1926, under de första dagarna i juni, observerades ny aktivitet i Dyngjufjöll. Folk som färdades i närheten kom till Öskjuvatn den 19 juni och såg där en ny ö i sjön. Ön är idag bara en bråkdel av sin ursprungliga storlek. Den sista eruptionen under denna aktivitetsperiod var ett utbrott längs den nordvästra kanten av 1875 års kaldera. Det är inte klarlagt när utbrottet skedde men troligen var det i början av trettioalet. Dessa kratrar har döpts till Ólafsgigar efter Ólafur Jónsson. Alla dessa utbrott under tjugotalet och början av trettioalet var basaltiska. Sex av eruptionerna skedde i anslutning till kalderan som bildades 1875; längs dess kant eller längs sprickor parallella till ringförkastningen. Ett (kanske två) utbrott



Figur 6. Explosionskratern Víti, som är cirka 150 m i diameter. Temperaturen är idag runt 30 grader. Detta attraherar badgäster, dock saknas en renade dusch efter badet. Ty vattnet har en svavelkomponent vilket ger en distinkt lukt.

följde en spricka orienterad i spridningsaxelriktningen och det är möjligt att utbrottet som bildade en ö 1926 är en förlängning av den spricka som ligger på Dyngjufjölls sydflank.

Víti eller Viti?

Som ett kuriosum kan nämnas ett kartografiskt misstag som förekommer på den amerikanska kartan tryckt år 1949. Efter andra världskriget framställde den amerikanska arméns kartbyrå (American Army Map Service) kartor i skalan 1:50000 över Island. På norra stranden av Öskjuvatn (figur 7) återfinns markeringen för fyr torn. Att ett fyr torn är placerat vid Öskjuvatn beror på att den amerikanska arméns kartbyrå förväxlade två snarlika isländska ord; ordet víti (med accent över första i-et) vilket betyder helvete (det är vanligt att man kallade svavelluktande, lerkokande kratrar för helvete) och ordet viti som betyder fyr torn. Orden är snarlika och ett misstag kan lätt ske. Man borde dock ha funderat på varför ett fyr torn är placerat mitt på det isländska högländet på en plats dit inte ens en bilväg når.

Utbrottet år 1961

Från och med den sjätte oktober till den 26 i samma månad år 1961 registrerades ett flertal jordskalv med en magnitud mellan 2,8 och 4,0 från Dyngjufjöll. Det bör noteras att seismograferna vid denna tidpunkt endast kunde registrera jordskalv kraftigare än 2,4 M från Dyngjufjöllområdet. Det hade kommit rapporter från besökare vid Askja att ett nytt geotermalområde hade bildats under den tidiga hösten 1961. Den tionde oktober



Figur 7. Delar av kartblad 6022 III Öskjuvatn framställt av den Amerikanska arméns kartbyrå. Notera det utsatta "Lighthouse" vid Öskjuvatns norra strand. Rutnätet har 1 km sidor.

försiggick fårspänning med flyg. Denna spaning leddes av Jón Sigurgeirsson och vid överflygningen av Askja observerade man flera nya ångpelare just innanför Öskjuop i den stora kalderan. En grupp färdades till Askja den 12 oktober för att följa utvecklingen. Man noterade då en avtagande intensitet i den geotermala verksamheten. Man observerade också ett flertal nya sprickor i området. De nya sprickorna var upp till 20 cm breda.

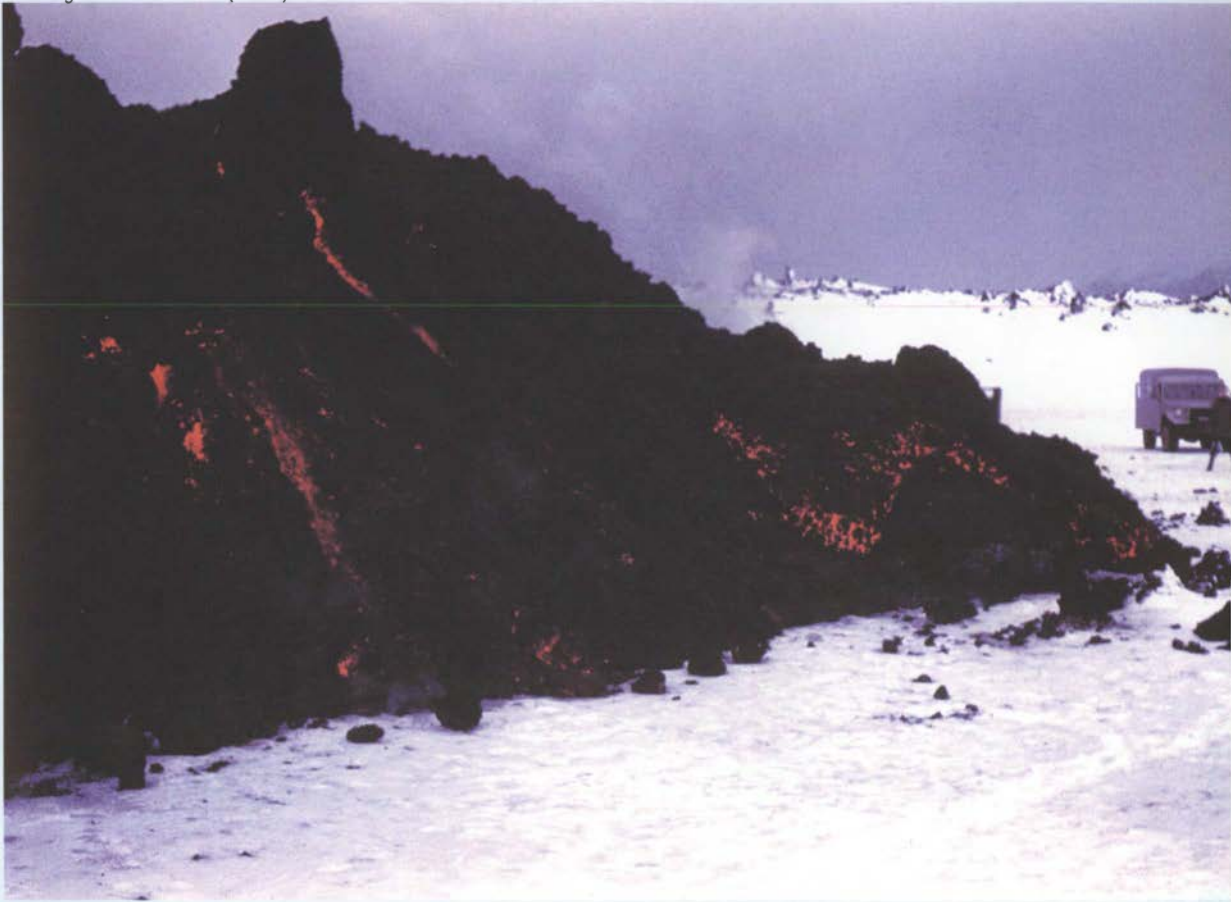
Den 19 oktober kom Guðmundur Sigvaldason och Tómas Tryggvason till Askja för att studera den uppvaknade aktiviteten. En viss förändring av aktivitetens karaktär kunde noteras i jämförelse med aktiviteten en vecka tidigare; en fumarol hade upphört att vara aktiv och en annan hade vuxit betydligt i storlek. Från den sistnämnda hade ejekta slungats ut så långt som 300 m och lera ännu längre. De skulle just göra den fotografiska dokumentationen då en kraftig explosion slungade ut ejekta i alla riktningar. Med fingret på avtryckaren dokumenterade Guðmundur denna explosion och sedan övergick de till en snabb reträtt. Denna explosiva fumarol döptes till Hrekkur som betyder spratt eller rackartyg (figur 3).

Vid en överflygning den 24 oktober hade fumarolaktiviteten nästan upphört. Detta tolkades så som att magma närmade sig markytan och grundvattnet försvann i och med detta. Torsdagen den 26 oktober 1961 klockan 14.30 observerade folk ombord på planet mellan Reykjavík och Akureyri ett ljust moln som steg upp igenom molntäcket. Klockan 11 samma dag hade seismografen i Reykjavík registrerat jordbävningar i Askja. Klockan 18 rapporterade en pilot att eruptionskolumnen var 10 000 m hög. Det senaste utbrottet i

Dyngjufjöll var igång. Den första färden till utbrottet gjordes av folk från Mývatnsområdet redan nästa dag och den första vetenskapliga expeditionen till utbrottet kom fram till Askja vid midnatt mellan den 27 och 28 oktober. Den senare gruppen nådde kanten till den stora kalderan ovanför Öskjuop klockan fyra på natten. Där såg de fyra lavafontäner och den kraftigaste nådde en höjd av 250–300 meter. Expeditionen tog sig ner i den stora kalderan. Fumarolerna som hade varit verksamma före utbrottet var nu döda. Hrekkur var helt kall och draperad av is. Dock hade några nya fumaroler bildats. Huvudparten av lavan rann ut genom Öskjuop och endast en mindre del rann söderut in i den stora kalderan.

Efter de första 24 timmarna täckte den nya lavan det mesta av Öskjuop och nådde nästan ända fram till Vikrafell (figur 3); en sträcka på 9 km. Området från de nya kratrarna och fram till Öskjuvatn täcktes av tefra från den första dagen då vinden var nordlig. Krater-raden följde en eruptionsspricka som var 800 meter lång och ligger nästan parallellt med den nordliga kalderakanten. Det är aa-lavtypen som dominerar lavafälten. Dess dominans tilltar med avståndet från kratrarna. I kratrarnas närhet finns det flera större eller mindre partier av pahoe-hoe-lava i aa-lavafältet. All lava i utbrottet är basaltisk och i princip afyrisk (dvs färre än 5% fenokryster). Efter den 7 november blev det svårare att följa utbrottet eftersom vädret försämrades och fr.o.m. mitten av november blev det omöjligt att köra in till Askja. Efter denna tidpunkt kunde endast observationer göras från flygplan och då endast om vädret tillät. Intensiteten av utbrottet varierade men hade en avtagande tendens med tiden. Den 28 november gjordes den sista observationen av ett aktivt utbrott. Nästa inspektionsflygning gjordes den 17 december. Då fanns det inga tecken på aktivitet, ingen glödande lava eller lavaströmmar i rörelse och kratrarna var snötäckta. Man tror att eruptionen slutade under den första veckan i december. Denna eruption genererade en lava som täckte 11 km² och volymen har beräknats till ~0,09 km³. De kratrar som var aktiva i detta utbrott har döpts till Vikraborgir och lavan till Vikrahraun (figur 3).

Två jordskalvssvårmar inträffade under år 1962 i Askja. Den första började i slutet av januari och varade i 12 timmar. Den andra svärmen började den 12 juni, först med ett skalv med magnituden 4,2, och höll på hela dagen. Totalt registrerades 70 skalv under denna jordskalvssekvens. Under den senare delen av juni samma år observerades en ny förkastning i Askja. Förkastningen löper från den norra kanten av Öskjuvatn i riktning mot de nya kratrarna. Den vertikala rörelsen var cirka en meter och man noterade att vattennivån i Öskjuvatn hade sjunkit med 3 meter. Man har ansett att grunda intrusioner orsakade jordskalvssvårorna och att dessa kom i kölvattnet av utbrottet 1961.



Lavaflöde under 1961 års utbrott i Askja. Foto Halldór Ólafsson; nu verksam vid Nordiska Vulkanologiska Institutet.

Slutord

Utbrottet 1961 var endast det senaste och det kommer flera utbrott i framtiden. Det verkar dock inte vara något direkt förestående, eftersom botten av den stora kalderan sjunker. Detta tolkas som att magman kristalliserar och/eller dräneras nedåt. Botten av kalderan har sjunkit cirka 4–5 cm per år sedan årliga mätningar inleddes år 1983, men en dag kan det vända och magma börjar ansamlas i en grund magmakammare under Askja. Hur snabbt det kan vända och var den kritiska nivån ligger är inte bekant. Forskning pågår årligen i Askjaområdet och därigenom ökar våra möjligheter att förstå denna vulkan.

Askja och Dyngjufjöll är fridlysta sedan år 1978 och med sin storslagna natur och sin spännande miljö ett givet resmål för Islandsresenären. Vikraborgir ligger där dagens väg slutar vid en parkeringsplats (det var väg ända fram till sjön tidigare), och därifrån är det cirka 35 minuters promenad till Víti och Öskjuvatn.

Jag uppmanar alla geologer och naturintresserade att besöka Askja!

Litteratur

- Brandsdóttir, B., 1992: Historical accounts of earthquakes associated with eruptive activity in the Askja volcanic system. *Jökull* 42, 1–12.
- Jónsson, Ó., 1942: Öskjuvatn. *Náttúrufræðingurinn* 12, 56–72.
- Jónsson, Ó., 1962: *Dyngjufjöll og Askja*. Bókaforlag Odds Björnssonar, Akureyri, 96 s.
- Thorarinsson, S., 1971: Damage caused by tephra in some big Icelandic eruptions. *Acta of the 1st International Scientific Congress on the Volcano of Thera*. Athens, 213–236.
- Pórarinnsson, S., 1963: *Eldur í Öskju, Askja on fire*, Almenna Bókafélagið Reykjavík, 48 s.
- Watts, W.L., 1962: *Norður yfir Vatnajökull 1875 eða Um ókunna stigu á Íslandi*. I J. Eyþórsson's ísländska översättning. Bókfellsútgáfan H7F Reykjavík, 208 s.

Erik Sturkell är verksam som geofysiker på Veðurstofa Íslands (Islands meteorologiska institut), Reykjavík; erik@vedur.is

ATLANTIS



Den klassiskt grekiska Atlantisberättelsen är en av den västerländska kulturens mest fascinerande myter. En berättelse om ett högt utvecklat samhälle som uppslukas och försvinner i havet, lång före vår tideräknings början. Är denna myt enbart en sedelärande berättelse, eller finns det någon verklighetsbakgrund till detta förhistoriska drama?

AV BENGT LOBERG

Berättelsen om Atlantis har fascinerat människor inom den europeiska kulturfären under mer än två årtusenden. Frågor har ofta ställts beträffande sanningshalten i den grekiske filosofen Platons berättelse om det märkliga storsamhället Atlantis. Fanns det ett örike ute i Atlanten och hur kunde detta inom loppet av ett dygn försvinna i havets djup? För att ge svar på dessa frågor är det nödvändigt att gå till de äldsta, skrivna källorna ävensom att med naturvetenskapen till hjälp söka förstå hur en stor ö så snabbt skulle kunna försvinna från jordens yta.

Kalderaväggen på huvudön Thera i Santorin-ögruppen. Det översta ljusa lagret är pimpstenslagret som avsattes i samband med utbrottet 1645 f.kr. Foto Joakim Mansfeld.

Atlantisberättelsens ursprung

Man ser ibland den uppfattningen att berättelsen om Atlantis tillhört en äldre folklig tradition. Så förhåller det sig med all sannolikhet inte, då berättelsen hitintills aldrig återfunnits i någon sådan tradition någonstans. Var än Atlantis omnämns i källorna, kan dessa visas ha ett och samma ursprung, dvs. de två Platon-dialogerna *Timajos* och *Kriteas*. *Timajos*-dialogen utges för att återge ett samtal mellan Sokrates, Timajos (naturforskaren), Kriteas (historikern) och Hermokrates (officeren). I denna dialog diskuteras universums natur, men där berättas även om öriket Atlantis. I *Kriteas*-dialogen finns en mer detaljerad

redogörelse för övöldets geografi, religion, författning och kultur. Där berättas även hur atlantiderna gradvis urartade intill dess att Zeus beslöt att deras uselhet inte längre skulle få fortgå ostraffad, varpå han sammankallar gudarna och säger..., här avbryts dialogen tvärt.

Enligt *Timajos*-dialogen var det den store atenske lagstiftaren Solon, som två hundra år före Platon skall ha berättat historien om Atlantis för en förfader till Kriteas. I sin ungdom besökte Solon huvudstaden Saïs i Nedre Egypten. Där samtalade han med lärda präster och kom då underfund med att han visste så litet om sitt eget lands historia. För att uppmuntra prästerna att berätta historier från forna tider, började Solon redogöra för den äldsta händelse som atenarna kände till, den om Syndafloden och *Deukalion* (motsvarigheten till Bibelns Noa). Efter att ha åhört denna berättelse frågar en av de äldsta prästerna om Solon inte var medveten om att Syndafloden bara var den sista i en rad av katastrofer samt att atenarna härstammade från ett ädelt släkte, vilket levde långt före Syndafloden. Bland de många märkliga dåd, som utförts av dessa forna atenare, vilkas stad (Ur-Aten) grundades niotusen år före Solons besök i Saïs, var segern över en väldig krigsmakt från det Atlantiska havet. Denna makt, *Atlantis* hade sitt säte på en ö större än Libyen och Asien tillsammans. Då härskarna över Atlantis försökte besegra och förslava alla länder inom Medelhavsområdet, ledde de gamla atenarna kampen mot dem och "*lyckades uppnå den mest omfattande frihet för alla dem av oss, som vistas hitom Herkules stoder.*" "*Senare förekom stora jordbävningar och översvämningar och inom ett dygn hade det atenska släktet uppslukats av jorden*", medan Atlantis försvunnit i havet endast kvarlämnande ofarbara revområden minnande om det forna övöldet.

För att rätt förstå karaktären hos de ovan nämnda dialogerna är det väsentligt att nämna något om deras tillkomsthistoria. Vid tiden för författandet vistades Platon på Sicilien vid självhärskaren, tyrannen Dionysios I:s hov i Syrakusa. Av denne ombads Platon att skriva något för en litterär "festival" att hyllas i staden. Detta resulterade i planerna för trilogin *Timajos-Kritias-Hermokrates*, vilken skulle ges en västgrekisk prägel.

Den dominerande politiska kraften inom den västgrekiska sfären var vid denna tid *Karthago*. Detta kraftcentrum kontrollerade en väsentlig del av det

mediterrana området ävensom delar av atlantkusten och öarna väster om Gibraltar. Detta kan ha givit Platon idén att uppfinna ett forntida "atlantiskt" välde, vilket konfronterade ett förhistoriskt Grekland (Ur-Aten). Platon beslöt sig för att åt denna sin berättelse ge en form, där han i detalj beskriver de båda makternas stridskrafter och övriga resurser. Dessutom inför han Zeus och andra gudar som aktörer i konflikten. Berättelsen rekommenderas i Platons dialog *Staten* som användbar i propagandasyfte i den nationella solidaritetens intresse. Grekerna i Syditalien och på Sicilien behövde påminnas om vikten av enighet med hänsyn till hotet från Karthago. Platon ville höja grekernas kamplust genom att beskriva hur en invasion från väst hade slagits tillbaka av deras förfäder. Därför uppiktade han ett forntida Atlantis med dess expansionistiska syften visavi Ur-Aten.

Detta stycke pseudohistoria var användbart också för andra syften. Platon utnyttjade det för att utbreda sig över det moraliska förfall, som uppstått såsom följd av välmåga och ogudaktighet hos det högeligen förfinade storväldet Atlantis. Han kunde också lovorda de egna förfäderna för deras utomordentliga mod och ledarskap i kampen mellan de två forna, fiktiva makterna. Organisationen av Ur-Aten återspeglade den platoniska idealstatens tre samhällsklasser 1) de politiska ledarna, 2) militären och polisen 3) de övriga medborgarna. Dessa uratenare uppges blott ha varit 20 000. Ändå kunde de slå tillbaka Atlantis stridande massor lika framgångsrikt som männen vid Maraton besegrade perserna 490 f.Kr.

Platon hade tidigare uttryckt sin avsikt att visa sin idealstat utsatt för de påfrestningar en konflikt-situation kunde innebära. Här i dessa sina dialoger, som till dels handlar om kampen mellan Ur-Aten och Atlantis, har han fullföljt sin ursprungliga avsikt. I dialogen *Timajos* ges en skiss av händelseförloppet. Skeendet beskrivs i *Kritias*, vilken dialog dock aldrig kom att fullbordas. En trolig anledning härtill var att uppdragsgivaren Dionysios I dog 367 f.Kr. Platons fortsatta engagemang i det sicilianska, politiska livet gav honom ej någon tid över att skriva "historiska romaner", varför *Kritias* aldrig kom att fullbordas. Dock, redan i sina första planer för verket förutsåg han frågan om var Atlantis nu är. Därför finner vi redan i *Timajos* uppgift om den katastrof, som utgjorde slutet på Atlantis.

Bakgrunden till Atlantismyten?

Så mycket i historien om Atlantis bär fiktionens prägel. I *Timajos* finner vi att Aten grundades 9000 år före Platons tid. Saïs, den ort i Egypten där berättelsen om Atlantis enligt uppgift skall ha bevarats, uppges ha grundats först 1000 år senare. I *Kritias* står det att Atlantisväldets invasion av Aten skedde för 9000 år sedan, vilket skulle innebära att Aten just hade grundats.

Platon påstår att berättelsen om Atlantis bygger på en egyptisk tradition, ett land där historie-skrivningen var mycket äldre än den inom den grekiska världen. Dock förefaller det i hög grad osannolikt att atlantisberättelsen med dess starka hellenska inriktning skulle ha överlevt denna långa tid i Saïs. Det bör även noteras att den aldrig uppmärksammats av någon annan än Solon, som mycket lämpligt råkar vara en stamfader till Platon själv.

I beskrivningen av Atlantis uppges bl.a. att ön var indelad i 60 000 lika stora jordlotter omgivna av ett bevattningssystem 1800 km långt. I sig rena orimligheter, vilka än mer ter sig som sådana, då ön beskrivs som synnerligen bergig. För övrigt, hur kunde en starkt kuperad ö ute i Atlanten hysa hjordar av elefanter, vilket Platon påstår?

Även andra omständigheter talar för att Atlantis är en fiktion. Platon låter såväl Atlantis som Ur-Aten försvinna, vilket innebär att det som berättats om dem ej låtersig utforskas. Å andrasidan är det belagt att öar helt eller delvis försvunnit i Medelhavets djup genom vulkanisk aktivitet. Att dramatiska händelser av sådant slag kommit att bevaras i muntlig tradition är i hög grad sannolikt. Likaså att Platon vid författandet av sina dialoger kan ha öst ur sådan källa.

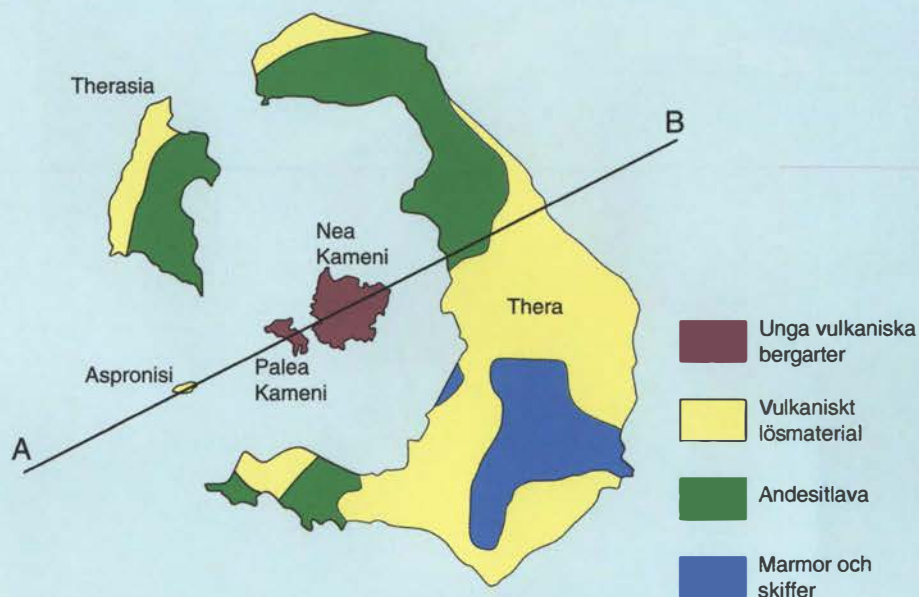
Vad den muntliga traditionen kan ha bevarat är det enorma utbrottet den vulkan hade, som idag är känd som *Santorin* (figur 1). Denna består av huvudön Thera samt de två mindre öarna Therasia och Aspronisi. Dessa tre öar bildar tillsammans den ovan havsytan synliga delen av en instörtningsskraters (kaldera) rand. I centrum av denna krater har senare två smärre vulkankäglor bildats, *Palaea Kameni* och *Nea Kameni* (figur 2).

Den geologiska forskningen har kunnat visa att den vulkan, av geologerna kallad *Stronghyle*, som fanns på platsen före Santorin, hade ett gigantiskt utbrott år 1645±7 f.Kr. Härvid rusade flytande lava, och andra vulkaniska produkter såsom större och mindre lava- och bergartsfragment ut ur vulkanens

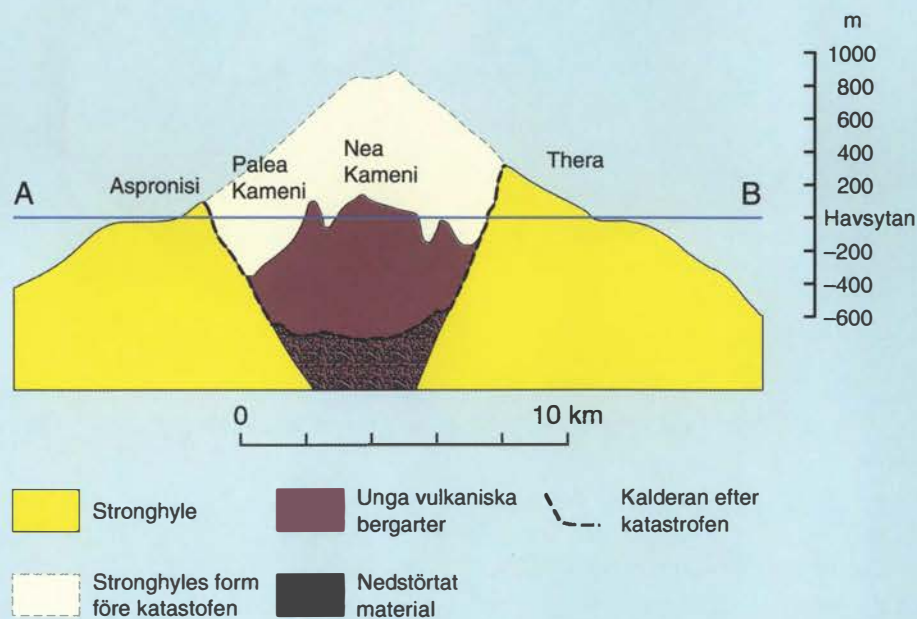


Figur 1. Santorin i sitt geografiska sammanhang i östra Medelhavet.

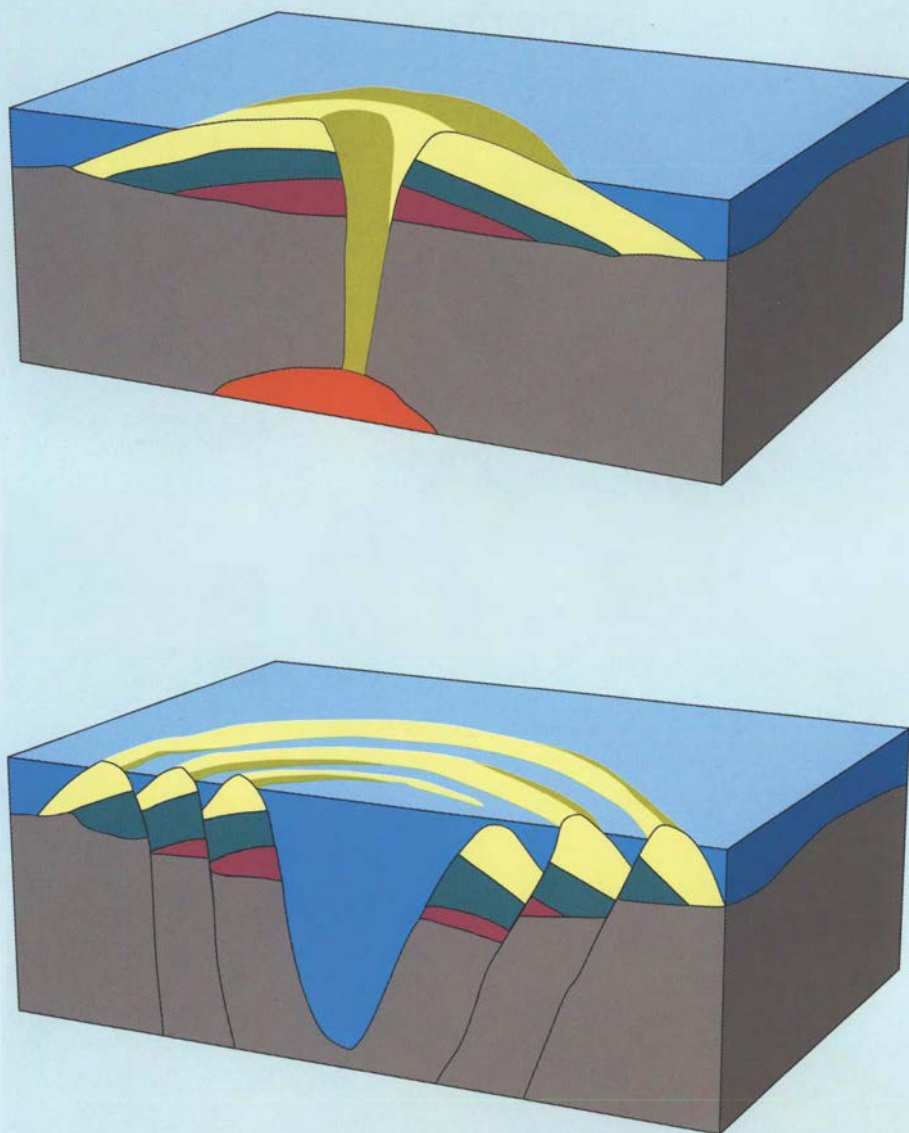
Santorin



Figur 2 Karta över ögruppen Santorin med schematisk geologisk information.



Figur 3. Profil genom Santorin, vilken även visar den äldre vulkanens d.v.s. Stronghyles förmodade yttre form samt dess instörtningsskrater. Inom denna har yngre vulkanism uppbyggt de smärre vulkanerna Nea Kameni och Palea Kameni. Profilen och bergartsbeteckningar återfinns i figur 2.



Figur 4. Schematiskt snitt genom en vulkankägla före och efter instörtningen. Vid denna, som förorsakats av ett explosivt utbrott hos vulkanen (ovan), uppstår ett system av trattformiga instörtningsblock varvid ett koncentriskt ringsystem bildas (nedan).

krater. Vid ett så väldigt vulkanutbrott töms på kort tid stora delar av den på djup under vulkankäglan befintliga magmakammaren på sitt innehåll, varvid kammarens tak störtar in. Slutligen störtar även vulkankäglan ned i magmakammaren varvid en ringformad instörtningskrater en så kallad kaldera

bildas. Av denna ser vi idag bara de ovan nämnda tre öarna Thera, Therasia och Aspronisi (figur 2, figur 3 och foto sidan 17).

Som följd av kalderabildande förlopp kan vid jordytan uppkomma en struktur bestående av flera trattformiga enheter koncentriskt satta i varandra, ett



Figur 5. Kalderan i Santorin fotograferad söderifrån. Närmast till vänster Aspronisi och bakom denna Therasia, till höger norra delen av Thera och i mitten Palea Kameni och Nea Kameni (jämför figur 2). Avståndet till den nordliga kalderaväggen på Thera är drygt en mil. Foto Joakim Mansfeld.

slags ringstrukturkomplex (figur 4). Råkar detta befinna sig i nivå med havsytan bildas ett system bestående av ömsom ringar av land och ringar av vatten. En sådan komplex bildning överensstämmer väl med Platons beskrivning av Atlantis såsom ett system av koncentrisk, vattenfyllda ringar. Ur naturvetenskaplig synpunkt är det fullt möjligt om än inte påvisat att vulkanön Stronghyle före utbrottet 1645 f.Kr. utgjordes av ett ringformigt kalderasystem bildat vid ett långt tidigare utbrott.

Platons beskrivning av Atlantis undergång liknar slutfasen vid Stronghyles utbrott. Det talas om "jordbävningar och översvämningar". Att sådana fenomen förekom vid den stora katastrofen är helt klart. Vidare sägs det i beskrivningen: "Därefter var havet på detta ställe under lång tid ej farbart på grund av det slam, som kvarstod efter öns undergång." Slammet kan ha bestått av vid vulkanutbrottet utslungad

pimpsten och pimpstensaska, som p.g.a. sin porösa karaktär flyter på vatten.

Slutord

Platons berättelse om ett forntida Atlantis och dess undergång är en litterär skapelse. Dess syfte var att hos sin samtids greker inpränta vikten av nationell solidaritet och kamplust inför det verkliga hot, som det mäktiga Kartago utgjorde. Filosofen, författaren har använt sig av muntlig tradition rörande en verklig vulkankatastrof för att ge verklighetsprägel åt sin berättelse om Atlantis och dess utplånande.

Bengt Loberg, docent, är pensionerad universitetslektor samt författare av läroböcker i geologi.

Smaragditgabbro i alperna



Geologens främsta hjälpmedel är kunskap och insamling av data i fält. Genom studier av block och stenar i ett område i alperna är det möjligt att förklara hur en spektakulär lokal bergart, smaragdit, bildats från gabbro. Exemplet visar att man med enkla medel och geologiskt kunnande kan tolka mångmiljonåriga, komplicerade bergartsbildande processer.

*Block som visar lokaliserad smaragdit-
omvandling i allaltingabbro. Blocket
finns i Saaser Vispa vid Saas Almagel.
Foto Per Nysten.*

AV BERTIL HOLMQVIST OCH PER NYSTEN

De europeiska alperna är ur geologisk synvinkel ett mycket intressant område. Dels tillhör alpkedjan tillsammans med Himalaya de yngsta på vår jord och dels befinner de sig fortfarande i ett bergsbyggande, orogent, stadium. Den centrala delen av alpkedjan är belägen i kantonerna Wallis och Graubünden i södra Schweiz. En mäktig del av denna bergskedja utgörs av Monte Rosamassivet, koordinater N45°55'E7°52' (Dufourspitze 4636 m.ö.h.), samt den 10 km norr därom befintliga Mischabelkedjan (figur 1). Denna bergsformation innehåller tio toppar som når 4000 m.ö.h. eller mer och separerar Matterdalen i väster från Saasdalen i öster.

En geologisk rundvandring i Saasdalen uppvisar som väntat vackra exemplar av ögongnejs med centimeterstora körtlar av kalifältspat, vackert gröna,

ofta veckade serpentinit, kvartsrik glimmerskiffer och amfiboliter. Alla dessa bergarter är en naturlig följd av orogenesen och däri omfattande metamorfa processer. Det är intressant att notera att det finns rikligt med flyttblock, överallt i dalen, som innehåller karaktäristiska gabbroblock med augitkristaller, ofta centimeterstora, tillsammans med vit plagioklas och underordnat reliker av en vittrad smutsigt grönbrun olivin. Ett mer detaljerat studium visar ofta att det går att finna olika omvandlade faser av denna gabbro. Steinmann (1905) och senare Kündig (1956) införde samlingsbegreppet ofiolit för dessa bergarter oberoende av om de är metamorfoserade eller ej. Ofiolit kommer från det grekiska ordet ophis, på engelska och franska serpent, som betyder orm och har fått namnet av de ofta gröna mineralen. Av

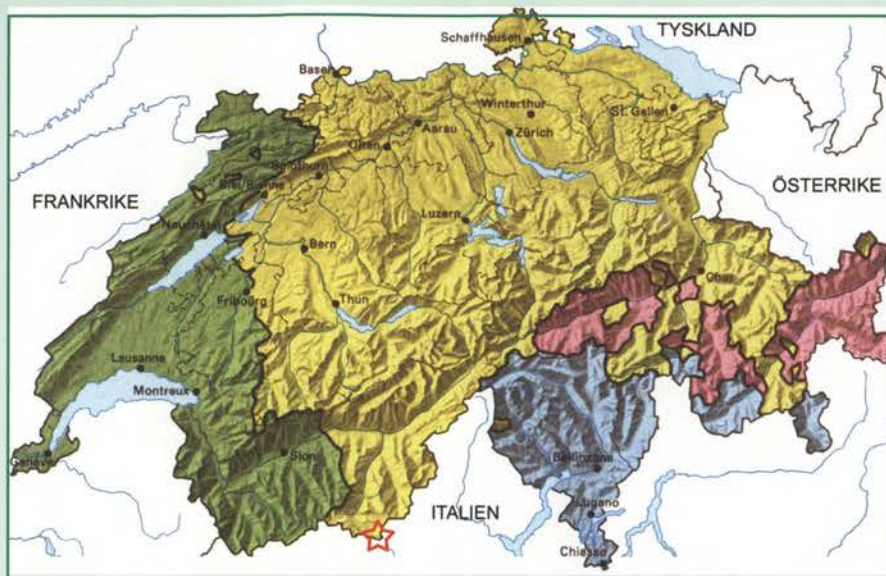


Fig. 1. Reliefkarta över Schweiz som visar Matter- och Saasdalarna belägna norr om Monte Rosamassivet, (markerad med röd stjärna), samt ytterligare norr därom den mäktiga Rhônedalen.

speciellt intresse är den färgstarka, mycket karaktäristiska omvandlingsprodukten av gabbbron som kallas *allalinit* (*smaragd*it), lokalt efter Allalinhorn, 4026 m.ö.h. i Mischabelkedjan. Allaliniten innehåller centimeterstora, intensivt kromgröna, pyroxener omgivna av ljus blå- eller grönvit saussurit och granatomsoluten talk. Underordnat finns även mineralen kloritoid och hornblände. Det är inte långsökt att jämföra allalingabbbron och allaliniten med den fula ankungen och svanen.

En schematisk beskrivning av alpernas uppkomst kan ges m.h.a. plattetektonik samt utifrån en s.k. Wilsoncykel med kontinentuppsprickning, bildning av havsbassänger och spridningszoner, följt av subduktion och kontinentkollision. Viktigt att beakta är även begreppet isostasi som grundar sig på att en lättare, mindre tät kontinent, flyter på ett tätare substrat (jämför isflak som flyter på vatten). Tidsmässigt handlar det om ca 500 miljoner år för att fullborda denna cykel.

En betraktelse av den geologiska utvecklingen av västalperna i Schweiz, t.ex. Saas- och Matterdalarna visar genom bl.a. fossilfynd att under Triasperioden (200 miljoner år sedan) täcktes nästan hela Schweiz av ett grunt varmt hav med ett stort antal öar och bassänger. Havet uppstod då isärslitande krafter (tension) i jordens mantel började att bryta sönder den tidigare existerande superkontinenten Pangaea. Vid övergången mellan Trias- och Juraperioderna, för

195 miljoner år sedan, fjärmade sig de europeiska och afrikanska kontinentplattorna från varandra med följd av att en djup ocean, Thetys, öppnade sig. Under Juraperioden, för 195–145 miljoner år sedan, utbildades Tethysbassängen och i stället för alperna i Wallis fanns submarina vulkaner i en oceanisk spridningszon som bildade ny havsbotten. Ett tvärsnitt av denna havsbotten visar en ofiolit och uppbyggnaden av en sådan kan beskrivas på följande sätt:

- 1) överst finner vi klastiska (fragmentförande) stenar som rasat nedför submarina sluttningar. Dessa kallas i Schweiz för Flysch. Dessutom finns delar av kiselalger (diatomeer) som omvandlats till hornfels (chert).
- 2) därpå följer basalt som delvis reagerat med havsvatten. Det översta basallagret består av kuddlavor vilka underlagras av talrika vertikala diabasgångar.
- 3) under detta återfinns gabbbron i stora massiv som uppkommit då den basiska magman stelnat långsamt varvid stora kristaller av augit, olivin och plagioklas bildats. Bottenskiktet i dessa magmakammare innehåller gravitativt koncentrerad olivinrik dunit.
- 4) under den oceaniska skorpan följer sedan den övre manteln.



Figur 2. Allalingleciären sedd i västlig riktning. I fonden skymtar Strahlhorn till vänster, i centrum Rimpfischhorn och till höger Allalinhorns sydvägg. Notera alpinisten som gått ner sig i en glaciärspricka. Foto Elisabeth och Bertil Holmqvist, Schweizer Alpen-Club, 1981.

Det material som ansamlats under Juraperioden återfinnes mycket senare i alpernas bergväggar. Bl.a. har man vid sidan av sediment som kalk, dolomit, glimmerskiffer också funnit serpentinit och kuddlavor. Dessa karaktäristiska formationer tyder på ett submarint ursprung. Lavor som strömmar ut ur submarina vulkaner antar just formen av kuddar.

Under Kritaperioden för omkring 90 miljoner år sedan började den afrikanska plattan att röra sig mot den europeiska, varvid den mellanliggande oceanplattan trängde ner till stort djup och omvandlades. Därefter trängde den afrikanska plattan in som en kil i den europeiska och delade den i en övre och en undre del. Ytterligare sammanpressning gav upphov till veckning med upplyftning och nedsänkning av material som följde, varvid "Afrikas" övre del fäste vid "Europas" överdel. Denna förenklade kollisionsmodell är baserad på seismiska djupundersökningar av den alpina berggrunden i Schweiz utförda mellan 1985–1993. Överskjutningsskollor bildades och ur de bägge plattorna uppstod en förtjockad kontinent (ca 40–60 km tjock). Kraftverkan skedde huvudsakligen

i NNV-lig riktning. Ändrade tryck- och temperaturförhållanden orsakade metamorfos, t.ex. omvandlades oceanplattans kuddlavor till djupbergarten eklogit som består av röd granat och grön pyroxen. Detta skedde enligt senaste rön för mellan 50 och 42 Ma sedan. Dessa högmetamorfa bergarter har under påföljande bergskedjeveckning åter pressats upp till yttligare nivåer. Resultatet av alla dessa processer utgör alpernas födelse.

Under de sista årmiljonerna har ett flertal istider eroderat fram den alprelief som är synlig idag. I södra Wallis t.ex. reser sig de gigantiska ruinerna av det som blev kvar, majestätiska gnistrande snötäckta toppar varav fler än 25 når över 4000 m.ö.h. Det är inte så lätt att tänka sig att t.ex. den välkända/ökända Matterhorn utgör en del av den afrikanska plattan. Men kollisionsärren mellan de afrikanska och europeiska plattorna är väl synliga i form av de höga bergen omkring Saas Fee och Zermatt. Det är inte osannolikt att ofioliten har kommit i dagen som följd av dessa omfattande tektoniska processer, som ägde rum vid bildandet av alperna. Ytterligare en annan

process som ger upphov till att bergstoppar skjuter i höjden kan beskrivas m.h.a isostasi. Under en istid gröpte ismassorna ur djupa dalar speciellt där lösare bergarter förekommer. Isen transporterade bort skrotmassorna och när inlandsisen dragit sig tillbaka kvarstod en bergskropp som var lättare med följd att rötterna till bergskedjan reagerade genom att lyfta hela bergskedjan i höjden. Erosionsprocesserna verkar ännu idag genom de befintliga glaciärerna som mejslar ut alpruinernas form. Glaciärerna styrs i sin tur av de förhärskande vindriktningarna mellan SV och NV samt deras fukttinnehåll, dvs nederbörd. Genom sin upplyftande effekt på bergen skulle också erosionen kunna vara en av förklaringarna till förekomsten av djupbergarter såsom eklogit i högalpin terräng.

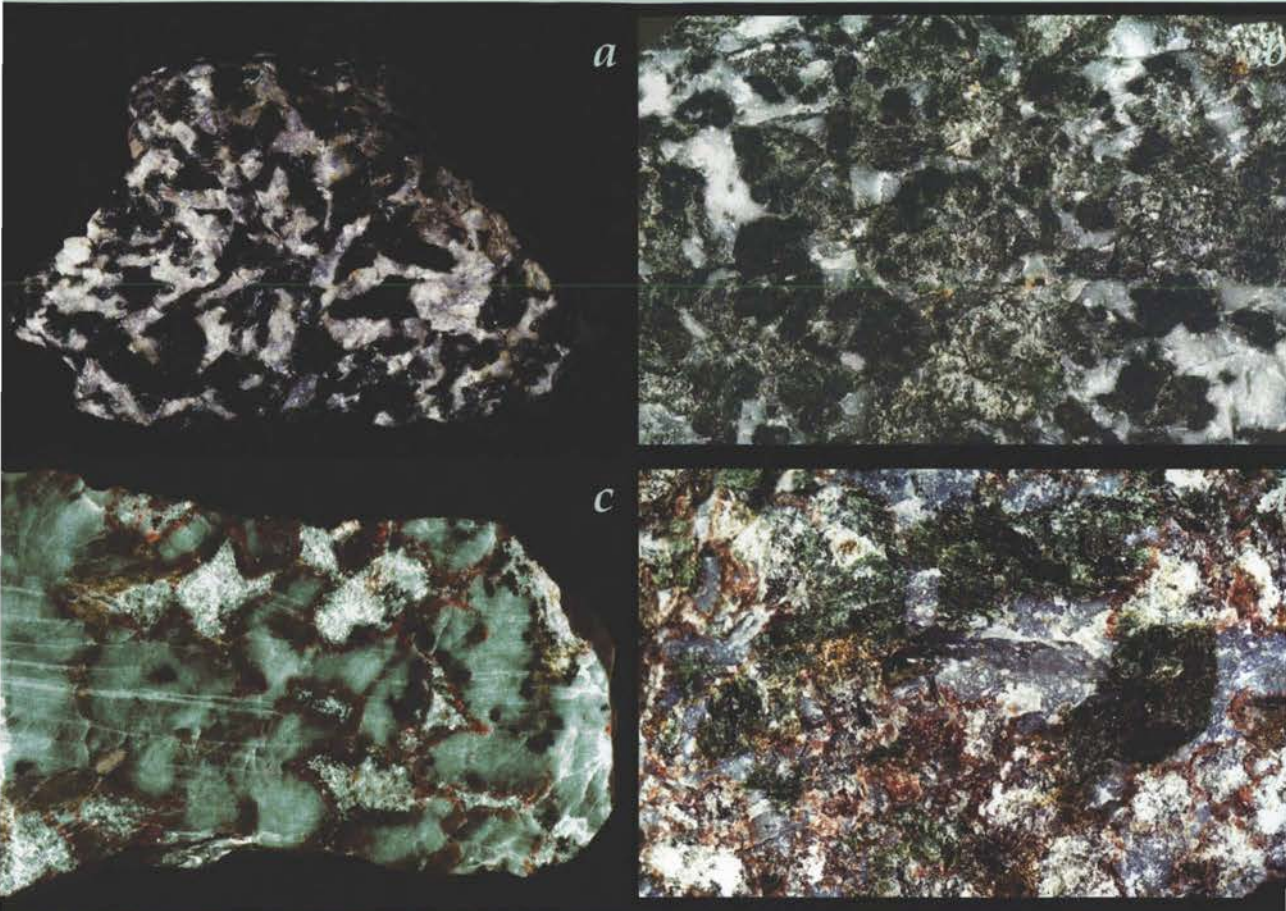
Gabbrobergarter i Saasdalen

För ungefär 50 000 år sedan inträffade för fjärde gången under den senaste årmiljonen en istid. Alpernas glaciärer växte i storlek och när maximum nåddes för cirka 15 000 år sedan hade istäcket i Saasdalen nått en höjd av cirka 2600 m.ö.h. Väldiga istungor strömmade ner mot den norrut riktade huvudismassan såväl från Mischabelkedjan som från den öster därom belägna Schweiz-Italienska bergskedjan. Efter inlandsisens avsmältning kan vi idag studera de olika över-skjutningsskollorna och deras bergarter och mineral som bildades vid alpernas orogena processer. I söder framträder Monte Rosaskollan. Bergsmassivet är

väsentligen övertäckt av mäktiga glaciärer men t.ex. den vackra toppkammen uppvisar gnejsberarter av paleozoiskt ursprung. Cirka 10 km norr om Monte Rosamassivet är tre 4000-meters toppar; Allalinhorn, Rimpfischhorn och Strahlhorn belägna som alla består av metamorft omvandlade ofiolitbergarter.



Figur 3. Glaciären i avsmältningstillstånd med ett virrvarr av sprickor. Till höger syns bergshöjden 3143 m. Bakom till vänster respektive i centrum ser vi Fluchthorn och Strahlhorn. Foto Elisabeth och Bertil Holmqvist, Schweizer Alpen-Club, 1996.



Figur 4. Omvandlingen från gabbro till smaragdit. a: Grovkornig allalitegabbro. De mörka fälten består av augit och de vita av svagt omvandlad labradorit. Bildens längsida motsvarar 12 cm. b: Måttligt omvandlad allalitegabbro. Pyroxenen (augiten) är delvis omvandlad till diopsid, labradoriten är blågrön och saussuritiserad och granatbårder (coronatextur) kan anas. All olivin är helt talkomvandlad. Bildens längsida motsvarar 8 cm. c: Polerad skiva av kraftigt omvandlad gabbro. Blågrön saussurit, vita talknåsten med röd granatbård samt grön pyroxen (omphacit) syns tydligt. I talken finns även ljusblå kyanit. Mörka korn av kloritoid eller hornblände. Bildens längsida motsvarar 8 cm. d: Rå yta av typisk smaragdit (allalinit). Foton Karl-Erik Alnavik, SGU.

Ytterligare norr om dessa berg består Mischabel-kedjan på nytt av paleozoiska gnejser och skiffrar, den s.k. Mischabel-Rückfalte. Denna över-skjutningsskolla är den sydligaste delen av Bernhardskollan som sträcker sig vidare till Rhônedalen. En genomskärning i riktning Ö-V visar att den paleozoiska Mischabelskollan stupar i västlig riktning mot Matterdalen. Där finner vi en över-täckning av mesozoiska bergarter dvs samma slag som i Allalinhorn, Rimpfischhorn och Strahlhorn. Väster om Matterdalen är den mesozoiska skollan täckt av Dent Blanchskollan som består av paleozoiska gnejser och skiffrar. Notera att samtliga skollor

stupar väster ut och medellutningen är modest, ca 30°.

Den huvudsakliga fyndorten av allalitegabbro och dess omvandlingsprodukter finns väsentligen i den övre halvan av Allalinhorns 700 meter tvärbranta sydvägg. Figur 2 visar ett panorama över förhållandena år 1981 vid bestigningen av Strahlhorn till vänster. Vidare syns Rimpfischhorn i mitten och Allalinhorns sydvägg till höger. P.g.a. Allaliteglaciärens avsmältning sedan slutet av 1800-talet, dvs den "Lilla istidens" slut, är det nu ej längre möjligt att finna gabbro annat än vid foten av en bergknalle markerad med 3143 m.ö.h., den mörka berg-

formationen till höger i figur 3. Den bildar här en s.k. tektonisk kontakt med serpentinit (bergarts-kontakten är inte ursprunglig utan beror på stor-skalig veckning och överskjutning). I den övre tredjedelen av sydväggen, dvs omkring 3800 m.ö.h., är en blåaktig glaukofanförande amfibolit en väsentlig bergart. Allalinhorns toppregion uppvisar lättillgängliga bergarter som t.ex. mörkgrön hornbländeprasinit. Enligt Novarese (1885) är prasinit en bergart som vid sidan av nybildad albit innehåller väsentliga beståndsdelar av i vårt fall hornblände.

På grund av sydväggens branthet och den stora stenslagsfaran är det ej tillrådligt att söka efter stuffer i eller nedanför väggen. Den väldiga Allalini-glaciärens moränhögar utgör i stället rika fyndplatser med ett representativt urval av glaciäreroderat material från de omgivande bergen. För vidare undersökningar av allalingabbro och allalinit från Saasdalen har vi samlat in stuffer från flera olika flyttblock längs moränskrotets transportväg (figur 4a–d). Vi har observerat att de metamorfoserade bergarterna kan delas in i huvudsakligen fyra omvandlingsstadier, från den föga påverkade gabbbron till slutprodukten allalinit/smaragdit. I det följande skall vi beskriva resultatet av undersökningar i mikroskala av de olika stadierna samt försöka ge en geokemisk förklaring till de olika metamorfa omvandlingarna.

Omvandling av allalingabbbron

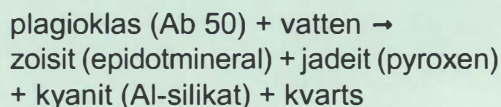
Även i ett så pass begränsat område som i södra Saasdalen nära Allalinhorn har en mångfald av geologiska processer gestaltat det vi ser idag. Det är därför nödvändigt att först söka "renodla" de olika förlopp som ägt rum i allalingabbbron innan vi studerar dess metamorfos. Snarlika tankar har diskuterats av PN i "Skärgårdsgeologi. Bland pegmatiter och migmatiter i S:t Anna" (*Geologiskt forum* 29). Därför kommer vi att ägna huvudintresset åt de primära mineralen augit, olivin och plagioklas samt deras metamorfa produkter och mindre intresse åt den mångfald av accessoriska mineral som också bildats. Vi söker med andra ord klargöra de väsentliga geologiska förlopp som ägt rum när gabbbron omvandlats till allalinit (smaragdit).

Allalingabbbron har uppstått genom att en basisk magma stelnat långsamt i jordskorpan varvid en grovkristallin massa av augit, plagioklas och olivin bildats genom en kombination av fraktionerad kristallisation och gravitativ differentiering. Vårt

insamlade material av väsentligen ursprunglig gabbro uppvisar stora heterogeniteter m.a.p. kristallstorlek. Augiten är oftast relativt frisk och fyller ut håligheter mellan plagioklaserna vilka delvis är omvandlade till s.k. saussurit. De uppvisar en bandning i vita och gråvita zoner samt saknar tvillingbildning. Rester av några millimeterstora olivinkrystaller med grönbrun färg syns i vissa prover i gabbbron. Figur 4a visar ett exempel på en nästan ursprunglig allalingabbro.

Saussuritisering av plagioklas

Frågan om fältspaten i allalingabbbron skulle ha partiellt metamorfoserats redan i ett senmagmatiskt stadium styrks av att t.ex. plagioklas i ofiolitiska gabbrobergarter från de liguriska Apenninerna också är delvis saussuritiserade. Dessa bergarter har ej genomgått någon senare metamorfos. I figur 4b visas ett exempel på gabbro där augiten fortfarande är intakt men såväl plagioklasen som olivinresterna fullständigt omvandlats. Fältspaten har övergått till en ljus grågrön pseudomorf vars sammansättning inte enkelt kan bestämmas ens med stereomikroskop. Röntgenanalys utförd av Bearth et al. har lett till det ganska komplicerade problemets lösning. Det sannolika geokemiska reaktionsförloppet kan beskrivas enligt formeln:



Reaktionen representerar en hydrotermal högtrycksprocess, då både kyanit och jadeit stabiliseras av en tryckökning, och det är anmärkningsvärt att man i samma flyttblock kan finna nästan opåverkad gabbro samt ett tillstånd där även augiten omvandlats till smaragdit. Jadeiten ingår som en beståndsdel i omfacit som är smaragditens gröna huvudkomponent.

Olivinens omvandlingsprodukter

Av de tre huvudbeståndsdelarna i gabbbron hör olivinen till den minst stabila. Detta mineral kan inte existera i jämvikt med plagioklas utan olivinen omger sig med amfibolen antofyllit följt av klorit och ytterst mot fältspaten av granat. I de fall då plagioklasen saussuritiserats fullständigt (figur 4b



Figur 5a. Block av "frisk" allalingsabbro. Foto Per Nysten.



Figur 5b. Block bestående till hälften av granat och grön omfacit. Foto Per Nysten.

och 4c), är även olivinen helt omvandlad till körtlar huvudsakligen bestående av talk samt mindre mängder kyanit. Ytterst, mot saussuriten befinner sig en ca 1 mm bred reaktionsbård av röd granat. Därefter följer en ungefär lika bred bård av stängliga ljus gröna och mörkt blågröna kristaller av pyroxen och amfibol. Centralt i körteln följer glänsande vitfällig talk. De olika mineralen är relativt grovkorniga, idiomorft utbildade och därmed lätta att identifiera i mikroskopet.

Det är av intresse att kommentera bildningen av granat-, pyroxen-, och amfibolbården då såväl saussuriten som olivinen tillsammans måste reagera kemiskt för bårdens bildning. Den röda granaten består väsentligen av pyrop (Mg, Al-silikat), almandin (Fe, Al-silikat) och grossular (Ca, Al-silikat). Man kan tänka sig att det rum som upptas av reaktionsbården ursprungligen upptogs av olivinen i kontakt med saussuriten. Undanträngning av olivin genom bildning av talk har till följd att Mg- och Fe-joner vandrar ut mot gränsområdet olivin-saussurit varvid SiO_2 och vatten tas upp från den senare. Mg- och Fe-joner binds till en del i omfacit (diopsid-jadeit) och till en del i granat varvid därtill nödvändiga Ca-, Na- och Al-joner diffunderar in i reaktionsbården från saussuriten. I en senare fas bildas amfibolerna tremolit (ljusgrön) och glaukofan (blå) på bekostnad av omfacit och talk. Vi ser att resultatet av den kvalitativa reaktionsmodellen mellan saussurit-olivin ger möjlighet att förklara observerade granat-, pyroxen- och amfibolförekomster.

Omvandling av augit till smaragdit

I figur 4d visas en gabbro där alla huvudkomponenter metamorfoserats. Från tidigare diskuterade stuffer känner vi igen saussuriten och det granatomgärdade talknästet. Den svarta augiten har nu också helt omvandlats, via ljusgrön diopsid, till en vackert ljusgrön smaragditpseudomorfo där den gröna färgen beror av små mängder krom. I motsats till saussurit är smaragditen ett entydigt resultat av regionalmetamorfosen. Vi har nämligen sett att i väsentligen opåverkad gabbro är plagioklasen partiellt saussuritiserad, däremot finns ingen smaragdit närvarande.

Omvandlingen av augiten sker etappvis och börjar med att ytterst finkristallin rutil nybildas och mineralet blir grumligt. Längs sprickor och spaltplan delas augiten senare upp i ett finkornigare aggregat av sekundär pyroxen (diopsid) i vilken även ett nätverk av parallellt orienterade små talkfjäll växer. Samtidigt tillväxer rutilen och bildar prismatiska kristaller likaledes i parallellställning. Vissa smaragditaggregat är även omgärdade av en granatbård mot omgivande saussurit.

Ett utbyte med omgivningen (saussuriten) äger rum varvid diopsiden omvandlas till omfacit varvid jadeitens natrium tas från den delvis saussuritiserade plagioklasen.

Resultatet av dessa reaktioner leder till att korngränser mellan augit och saussurit utplånas, varvis en granat- och kloritförande reaktionszon utvecklas. I en senare omvandlingsfas mellan pseudomorfoserna bildas dessutom ytterligare talk,

klorit och granat samt glaukofan, kloritoid, och kvarts. Detta illustrerar väl den komplicerade paragenes som uppstår vid metamorfosen. Sammanför vi iakttagelserna av de olika reaktionsprodukterna erhållna vid omvandling av augit, plagioklas och olivin är det uppenbart att stora tryck och temperaturskillnader måste ha förekommit vid omvandlingen av allalingsgabbro till allalinit (smaragdit).

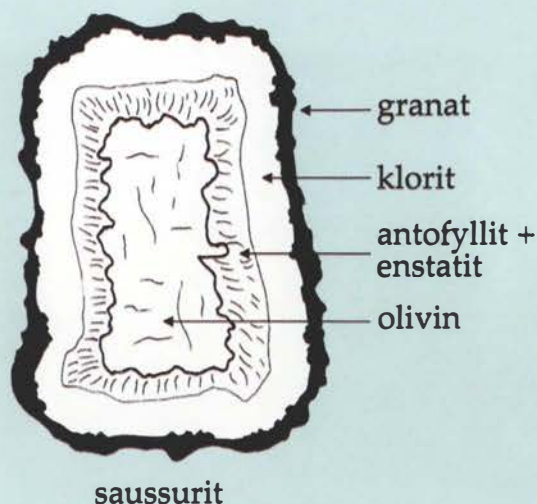
Avslutande sammanfattning

Ett grundläggande ändamål med denna artikel har varit att visa hur långt man kan komma med enkla bestämningsmetoder för bergarter såsom gabbro och dess omvandlingsprodukter. Vi har med hjälp av observationer i fält av stuffer tagna från ett antal flyttblock (figur 5a och b samt vinjettbilden) längs Allalingsglaciärens moränhögar tillsammans med studier i stereomikroskop stegvis kunna följa en högtrycksmetamorfos av en basisk magmatisk djupbergart. Tanken bakom indelningen av omvandlingsfaserna i fyra steg från föga omvandlad gabbro till allalinit har bestått i att väsentliga omvandlingar ägt rum i på varandra följande stadier. Ytterligare metamorfos leder till en kloritoid- och glaukofanförande smaragdit-saussuritgabbro som under retrograda förhållanden kan övergå i en albit-zoisitskiffer, zoisitamfibolit, prasinit m.m. Men studier av dessa processer kräver större insatser än vad som hittills varit möjliga för oss. För att kunna tränga djupare in i bergartsomvandlingarna och utöka detaljkunskaperna har vi anlitat publicerade artiklar av den närmast legendariske fältgeologen Peter Bearth.

Följande scenario är tänkbart:

För mellan 70 och 40 Ma sedan drogs relativt kall oceanisk havsbottenbasalt och medföljande gabbro ned i en subduktionszon där trycket måste ha överstigit 10 kbar. Delar av dessa bergarter omvandlades helt under det att andra behöll sitt ursprungliga mönster. Vid låg omvandlingsgrad kan det magmatiska mönstret fortfarande ses men mineralzoneringar har bildats: (olivin) – Mg-pyroxen – Mg-amfibol – klorit – granat – (plagioklas) där mineralen inom paranteser är instabila tillsammans (figur 6).

Vid mer långtgående omvandling löses detta mönster upp och den gråsvarta magmatiska pyroxenen har blivit vackert smaragdgrön, samtidigt som



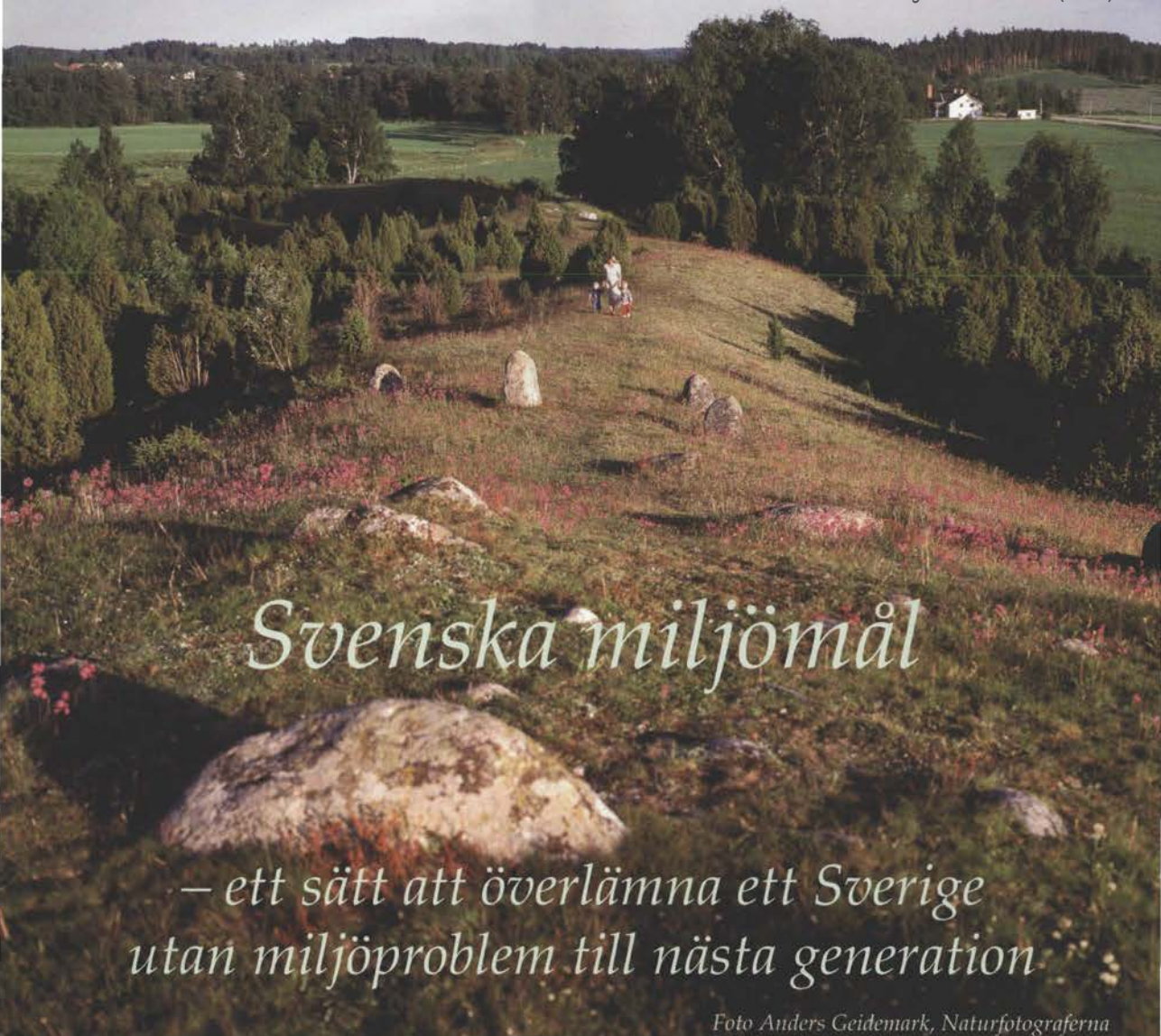
Figur 6. Schematisk bild visande reaktionsbänder mellan olivin och plagioklas (saussurit).

all plagioklas bildat kyanit + zoisit + kvarts. I detta skede har vatten spelat en viktig katalyserande roll. Dessa färgstarka bergarter har vid därpå följande orogenes åter kommit i dagen och befinner sig på 3–4 km höjd över havet där envar med viss ansträngning kan beskåda dem.

Litteratur

- Auf der Maur, F., Heitzmann, P., Lehner, P. och Schenk, B., 1994: *Echo du sous-sol. Résultats du Programme national de recherche 20/PNR20 sur l'exploration du soubassement géologique de la Suisse.*
- Bearth, P., 1967: *Die Ophiolithe der Zone von Zermatt - Saas Fee, Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz.* Kümmerly und Frey AG, Geographischer Verlag, Bern.
- Milnes, A.G., 1998: Alpine and Caledonide tectonics - a brief comparative study. *GFF* 120, 237-247.
- Pinter, N och Brandon, M.T., 1997: How erosion builds mountains. *Scientific American* 60
- Nysten, P., 2001: Skärgårdsgeologi. Bland pegmatiter och migmatiter i S:t Anna. *Geologiskt Forum* 29, 18-22.

Bertil Holmqvist är pensionerad studierektor och universitetslektor vid Institutionen för neutronforskning vid Uppsala universitet och Per Nysten är universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper samt intendent vid Evolutionsmuseet, Uppsala universitet; per.nysten@geo.uu.se



Svenska miljömål

*– ett sätt att överlämna ett Sverige
utan miljöproblem till nästa generation*

Foto Anders Geidemark, Naturfotograferna

AV CARL-MAGNUS BACKMAN

År 1999 fattade riksdagen beslut om en struktur för hur miljöarbetet skulle bedrivas i landet. Det övergripande miljöpolitiska målet är att till nästa generation överlämna ett samhälle där de stora miljöproblemen i Sverige är lösta. Samtidigt fastställdes 15 nationella miljökvalitetsmål. De 15 miljökvalitetsmålen har formulerats på ett svepande sätt vilket har gjort att de ibland har ansetts som lite flummiga (se förteckningen i faktarutan). Riksdagen har hösten 2001 godkänt en proposition där det finns konkreta och tidssatta delmål till varje miljökvalitetsmål. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har fått i uppgift av regeringen att arbeta för att målen

uppnås. I den här artikeln skall jag redovisa hur arbete med att uppnå delmålen skall gå till och beskriva några delmål som kan vara av speciellt intresse ur ett SGU-perspektiv.

Agenda 21 arbetet som startade efter miljökonferensen år 1992 i Rio de Janeiro, innefattar tre dimensioner, en ekologisk dimension, en ekonomisk och en social dimension för en hållbar utveckling. Det svenska miljömålsarbetet är endast inriktad på den ekologiska dimensionen. Utgångspunkten för formuleringen av miljökvalitetsmålen är följande fem grundläggande värden:

- *Människors hälsa*
- *Den biologiska mångfalden och naturmiljön*
- *Kulturmiljön och de kulturhistoriska värdena*
- *Ekosystemets långsiktiga produktionsförmåga*
- *En god hushållning med naturresurser*

Regeringen anser att för att uppnå målen måste miljöarbetet vara en del av alla verksamheter och alla måste ta sin del av ansvaret. Detta gäller myndigheter, företag och enskilda. De styrmedel som finns är lagstiftning (främst miljöbalken), skatter och avgifter, det uppdrag som olika myndigheter får i arbetet med miljö kvalitetsmål, arbete med miljöledning, miljömärkning med mera och olika typer av frivilliga överenskommelser och slutligen en dialog mellan staten och näringslivet.

Ett viktigt steg för att nå miljömålen är att införa ett så kallat sektorsansvar, vilket innebär att myndigheter och företag tillsammans ansvarar för att miljömålen nås inom sin sektor, exempelvis transportsektorn eller jordbrukssektorn. Miljöhänsyn måste vägas in när man fattar beslut som berör sektorn. Ett antal statliga myndigheter har fått ett sektorsansvar och skall driva på arbetet för att nå miljömålen i sin sektor.

Som vägledning för de som skall arbeta för att uppnå miljö kvalitetsmålen har regeringen också formulerat tre strategier för arbetet, nämligen:

- *Effektivare energianvändning och transporter*
- *Giftfria och resurssnåla kretslopp*
- *Hushållning med mark, vatten och bebyggd miljö*

För vi skall vara säkra på vi är på rätt väg för att uppnå miljö kvalitetsmålen, är det av avgörande betydelse att arbetet kan följas upp. Nationella och regionala uppföljningssystem skall därför utvecklas. Uppföljningen skall ske genom att man följer ett antal indikatorer. 159 olika indikatorer har föreslagits av Miljömålskommittén. Det stora antalet gör att det kan bli svårt för allmänheten att följa arbetet och regeringen vill därför komplettera indikatorerna med 12 gröna nyckeltal, som redan nu delvis används för att följa arbetet mot en ekologisk omställning i Sverige.

Olika centrala myndigheter ges ansvar för de olika miljö kvalitetsmålen. Kemikalieinspektionen ansvarar för Giftfri miljö, Statens strålskyddsinstitut för Säker strålmiljö, Sveriges geologiska undersökning för Grundvatten av god kvalitet, Skogsstyrelsen för Levandeskogar, Jordbruksverket för Ett rikt odlingslandskap, Boverket för God bebyggd miljö och Naturvårdsverket för resterande mål.

FAKTARUTA

De 15 nationella miljö kvalitetsmålen:

- *Begränsad klimatpåverkan*
- *Frisk luft*
- *Bara naturlig försurning*
- *Giftfri miljö*
- *Skyddande ozonskikt*
- *Säker strålmiljö*
- *Ingen övergödning*
- *Levande sjöar och vattendrag*
- *Grundvatten av god kvalitet*
- *Hav i balans samt levande kust och skärgård*
- *Myllrande våtmarker*
- *Levande skogar*
- *Ett rikt odlingslandskap*
- *Storslagen fjällmiljö*
- *God bebyggd miljö*

Övergripande ansvar har också delats ut, bland annat skall länsstyrelserna få ett övergripande ansvar för regionalt mål- och uppföljningsarbete.

SGU har ansett att det geovetenskapliga perspektivet inte är tillräckligt framträdande i miljömålsarbetet. SGU gick därför in med en särskild skrivelse till Miljömålskommittén, om behovet av en geologisk grundsyn i miljömålsarbete. Eftersom geologin utgör golvet i ekosystemet är det nödvändigt att vid ett ekologiskt betraktelsesätt också ta hänsyn till geologin. Den geologiska grundsynen kanske inte genomsyrar miljömålsarbetet än, men det är ingen tvekan om att geologisk kompetens och erfarenhet kommer att behövas för att uppnå flertalet av miljö kvalitetsmålen och i några fall har arbetsuppgifterna redan kunnat konkretiserats.

Om man vill titta på miljö kvalitetsmålen ur ett SGU-perspektiv är det fyra mål som blir extra intressanta eftersom myndigheten på ett eller annat sätt är, eller kommer att bli, inkopplad i arbetet för att nå dessa mål. Målen är Giftfri miljö, Säker strålmiljö, Grundvatten av god kvalitet och God bebyggd miljö. Ytterligare två mål, nämligen Myllrande våtmarker och Storslagen fjällmiljö, är också av intresse för SGU, med tanke på vår uppgift att verka för ett ekologiskt och ekonomiskt balanserat utnyttjande av landets mineralresurser. Nedan skall jag kommentera de här målen.



För miljö kvalitetsmålet Giftfri miljö är det viktigt att beakta bakgrundshalterna av de ämnen som förekommer naturligt i miljön.

Miljö kvalitetsmålet Giftfri miljö

Regeringen gör bedömningen att i ett generationsperspektiv innebär miljö kvalitetsmålet Giftfri miljö bland annat följande:

- Halterna av ämnen som förekommer naturligt i miljön är nära bakgrundsnivåerna
- Halterna av naturfrämmande ämnen i miljön är nära noll.
- Den sammanlagda exponeringen i arbetsmiljö, yttre miljö och inomhusmiljö för särskilt farliga ämnen är nära noll och för övriga kemiska ämnen inte skadliga för människor.
- Förorenade områden är undersökta och vid behov åtgärdade.

I propositionen behandlar dock regeringen bara ett delmål, nämligen det som avser förorenade markområden. Delmålet är att förorenade områden skall vara identifierade och för minst 100 av de områden som är mest prioriterade med avseende på

människors hälsa och miljö skall arbete med sanering och efterbehandling ha påbörjats senast år 2005. Minst 50 av de områden där arbete påbörjats skall dessutom vara åtgärdade.

Detta delmål har redan lett till att SGU har haft ett särskilt uppdrag att identifiera så kallade statliga herrelösa anläggningar, det vill säga industriområden där staten har bedrivit verksamhet men där verksamhetsutövaren inte finns kvar idag.

Regeringen har i övrigt behandlat detta miljö kvalitetsmål i en särskild proposition, nämligen den om en kemikaliestrategi för giftfri miljö. Här har tankarna om geologin som ett golv fått fäste. Det står nämligen i propositionen att det är viktigt att beakta bakgrundshalterna av de ämnen som förekommer naturligt i miljön. Kunskap om geologin är då en viktig utgångspunkt. Ämnen som kommer ut i miljön på grund av mänskliga aktiviteter måste ställas i relation till de naturliga halterna. I områden där t.ex. de naturliga halterna av metaller är höga, kan det vara nödvändigt att begränsa utsläppen av metaller från mänsklig aktivitet, mer än inom andra områden.

Miljö kvalitetsmålet Säker strålmiljö

Regeringen har till detta mål formulerat delmål som handlar om utsläpp av radioaktiva ämnen, antal hudcancerfall och risker med elektromagnetiska fält.

I miljö målspropositionen behandlas inte radonproblematiken under detta mål, utan frågan har utretts speciellt av Radonutredningen som överlämnade sitt slutbetänkande till miljöministern i januari förra året och propositionen kom i våras.

Utredningen konstaterar att lungcancer som en följd av förhöjda radongashalter inomhus är ett av vårtids största folkhälsoproblem. Ca 500 personer, de flesta rökare, avlider årligen på grund av radon. Problematiken har varit känd sedan slutet av 70-talet men endast ett litet antal bostäder har undersökts och än färre åtgärdats. Radonutredningen föreslår att en miljö kvalitetsnorm införs för radon i bostäder, förskolor och skolor

Miljö kvalitetsmålet Grundvatten av god kvalitet

För att uppnå miljö kvalitetsmålet Grundvatten av god kvalitet har antagits fyra delmål. Tre skall



Inom miljöområdet Säker strålmiljö föreslår radonutredningen att en miljökvalitetsnorm införs för radon i bostäder, förskolor och skolor

uppnås år 2010. Det fjärde innebär att ett åtgärdsprogram enligt EG:s ramdirektiv för vatten skall finnas senast år 2009.

Delmål ett innebär att grundvattenförande geologiska formationer av vikt för vattenförsörjning skall ha ett skydd mot sådan exploatering som begränsar deras användning av vattnet. Tanken med detta är att man senast år 2003 skall peka ut geologiska formationer redan innan de blivit exploaterade på så sätt att det försvårar utnyttjandet av dem som källa till dricksvatten i framtiden. SGU skall identifiera dessa formationer och även undersöka Sveriges tätortsregioner och närliggande områden med avseende på befintliga betydande grundvattenförekomster. Dessa formationer skall sedan kunna ges ett lagligt skydd och till och med utses till riksintressen. Sveriges kommuner skall senast till år 2005 inventerat vattenbehov, tillgång på vattenresurser och identifierat brister i vattenförsörjningen.

Delmål två innebär att senast år 2010 skall användning av mark och vatten inte medföra sådana ändringar av grundvattennivåer som ger negativa konsekvenser för vattenförsörjningen, mark-

stabiliteten eller djur- och växtliv i angränsande ekosystem. Syftet med delmålet är att begränsa skador som uppkommer på vattenförsörjning, markstabilitet eller växt- och djurliv genom mänskliga ingrepp som uttag av grundvatten och ovarsamma byggnads- och anläggningsprojekt.

För att delmålet skall uppnås måste berörda myndigheter, bland andra SGU ta fram en handbok med bland annat metoder och underlag för vattenplanering som en del av föreskrifterna och råden för genomförandet av EG:s ramdirektiv för vatten. Desskall vidare peka ut de regionala mark-, yt- och grundvattenresurser som bedöms vara av riksintresse för vattenförsörjning. Regionala vattenhushållningsprogram skall upprättas av länsstyrelserna eller avrinningsmyndigheterna.

I delmål tre sägs att senast år 2010 skall alla vattenförekomster som används för uttag av vatten som är avsett att användas som dricksvatten och som ger mer än 10 m³ per dygn i genomsnitt eller betjänar mer än 50 personer per år uppfylla gällande svenska normer för dricksvatten av god kvalitet med avseende på föroreningar orsakade av mänsklig verksamhet.



Ett delmål inom Grundvatten av god kvalitet är att grundvattenförande geologiska formationer av vikt för vattenförsörjning skall ha ett skydd mot sådan exploatering som begränsar deras användning av vattnet.

Inom miljökvalitetsmålet God bebyggd miljö ingår också uppdraget att utveckla kravspecifikationer och metoder för att avgöra vilka hushållnings- och miljöaspekter som bör gälla för användning av naturgrus och alternativa material.

Åtgärder måste sättas in för att förbättra grundvattnets kvalitet. Kvaliteten på grundvatten i Sverige som används som dricksvatten måste uppnå den kemiska status som anges i EG:s ramdirektiv. Om inte detta sker kommer grundvattnet att ha föroreningshalter som får negativa effekter på människors hälsa och på vattenkvaliteten i sjöar, vattendrag och hav. Bland de allvarligaste problemen som tas upp i propositionen är nitrat, bekämpningsmedel, radon, saltvatten och, lokalt, även saltning av vägar. För att motverka risken att grundvattnet oavsiktligt förorenas eller att grundvattenförande lager på annat sätt påverkas negativt i samband med borrhning, skall SGU vara med och utarbeta råd och riktlinjer för vattenborrhning och energiborrhning.

SGU kommer i detta sammanhang verka för att utveckla de undersökningsprogram som finns så att de ger en representativ bild av grundvattnets tillstånd i Sverige. Utveckling av databaser är nödvändigt för att lagra den information som behövs för beskrivning av grundvattnets tillstånd och för att följa upp miljökvalitetsmålet.

Miljökvalitetsmålet Myllrande våtmarker

Detta miljökvalitetsmål är i stort behov av konkretisering. Detta görs också av regeringen som föreslår fem stycken delmål som handlar om upprättandet av en nationell strategi för skydd och skötsel av våtmarker och sumpskogar, skydd för våtmarksområden i Myrskyddsplanen, byggande av skogsbilvägar och åtgärdsprogram för hotade arter.

Ett tidsatt och mätbart delmål finns också som innebär att i odlingslandskapet skall minst 12 000 ha våtmarker och småvatten anläggas eller återställas fram till år 2010.

I propositionen skriver regeringen om torvbrytning, att den måste bedrivas med största hänsyn till såväl de hydrologiska konsekvenserna som påverkan på den biologiska mångfalden och de kulturhistoriska värden som är knutna till myrområden. Man konstaterar också att Svenska Torvproducentföreningen har förklarat sig beredd att medverka med att ta fram en nationell strategi för skydd och skötsel av våtmarker, vilket ger goda förutsättningar för att bestämma bland annat vilka återställningsåtgärder som kan bli aktuella när en torvbrytning upphör.

Miljökvalitetsmålet Storslagen fjällmiljö

Regeringen skriver att fjällen skall ha en hög grad av ursprunglighet vad gäller biologisk mångfald, upplevelsevärden samt natur och kulturvärden. Verksamheter i fjällens skall bedrivas med hänsyn till dessa värden och så att hållbar utveckling främjas. Särskilt värdefulla områden skall skyddas mot ingrepp och störningar.

Frågan om utnyttjandet av mineralresurser i fjällmiljön berörs under delmål 3, vilket innebär att senast år 2010 skall merparten av områden med representativa höga natur- och kulturvärden ha ett långsiktigt skydd som vid behov omfattar skötsel och restaurering. Regeringen hänvisar i övrigt till



Storslagen fjällmiljö är ett av miljökvalitetsmålen

utredningen om minerallagen, markägarna och miljön som bland annat övervägt frågor om skyddet för värdefull miljö vid undersökningsarbeten.

Miljökvalitetsmålet God bebyggd miljö

För att uppnå detta miljökvalitetsmål har bland annat antagits ett delmål som innebär att år 2010 skall uttaget av naturgrus i landet vara högst 12 miljoner ton och andelen återanvänt material utgöra minst 15 % av ballastanvändningen.

Det här innebär att arbetet med att minska uttag av naturgrus och öka andelen återanvänt material skall fortsätta i samarbetet med branschen. SGU skall med berörda intressenter och myndigheter utveckla frivilliga överenskommelser.

I uppdraget ingår också att utveckla kravspecifikationer och metoder för att avgöra vilka hushållnings- och miljöaspekter som bör gälla för användning av naturgrus och alternativa material.

Även till detta delmål har branschen, som företräds av Grus- och Makadamföreningen, ställt sig positiv.

Slutsatser och sammanfattning

Den här målstrukturen förväntas leda till att vi får ett Sverige utan miljöproblem inom en generation. Hela målarbetet är i sig både utmanande och intressant. För att miljökvalitetsmålen skall kunna nås krävs att alla aktörer i samhället samverka. Vi måste också tidigt få fungerande uppföljningssystem så att man kan se om vi är på rätt väg och vid behov omformulera delmål eller vidta andra åtgärder. Målet Begränsad klimatpåverkan förefaller besvärligast att uppnå. Att miljömålsarbete kommer att innebära nya intressanta arbetsuppgifter för geovetare är alldeles uppenbart.

*Carl-Magnus Backman arbetar vid Sveriges geologiska undersökning i Uppsala och är chef för programmet Miljö och naturvård;
carl-magnus.backman@sgu.se*

GEONYTT

Under rubriken "Geonytt" uppläser *Geologiskt forum* kostnadsfritt plats för information relevant för föreningens medlemmar eller geointresserad allmänhet. Har du något du vill upplysa om, sänd informationen till tidningen senast 1/8 (adress, fax och e-post, se sid. 2). Nästa nummer kommer i september.

Nya ledamöter i Geologiska Föreningens styrelse

Vid Geologiska Föreningens årsmöte den 21 april valdes Joakim Samuelsson och Ulf Qvarfort till ledamöter för perioden 2003–2004.

Joakim Samuelsson är paleontolog och arbetar med chitinozoer, paleogeografi och paleofacies. Han doktorerade 1997 på Meso- och Neoproterozoikums mikropaleontologi. Det hann bli tre postdoktorpositioner i Kanada, Belgien och Frankrike innan han återvände till Sverige och Uppsala universitet.

Ulf Qvarfort disputerade 1977 och är docent i kvartärgeologi vid Uppsala universitet. Han arbetar på Försvarets Forskningsinstitut (FOI) med frågor som berör föroreningstransport i mark och grundvatten, särskilt miljöproblem i samband med avveckling av militära baser och anläggningar i Sverige, Ryssland och Baltikum.

Vid årsmötet omvaldes Kajsa Hult, skattmästare och Joakim Mansfeld, redaktör, även dessa för perioden 2003–2004.

Geologins dag 2002

Den 28 september går den andra Geologins dag av stapeln. Hittills har omkring 70 olika arrangemang runt om i hela Sverige anmälts. Observera att andra datum än den 28/9 kan gälla lokalt, särskilt i norra Sverige. Se www.geologinsdag.nu eller lokaltidningen för mer information om arrangemang i din närhet.

Geologins dag

I Föreningen för Geologins dag ingår representanter för näringslivet, forskningsinstitutioner, amatörgeologer och även från Geologiska Föreningen. Vill du också vara med? Kontakta Geologins dags projektledare, Emma Härdmark, 08-519 540 37, geologinsdag@nrm.se, www.geologinsdag.nu.

En prenumeration

på *Geologiskt forum* 2002 (nr 33–36) kostar 140 kr.

Gör så här: betala 140 kr till Swedish Science Press på postgiro 489 78 50-6 eller bankgiro 914-4601. Märk inbetalningskortet Geologiskt forum 2002.

Medlemskap i Geologiska Föreningen

kostar 400 kr/år. Studerande betalar dock endast 200 kr/år (under max. 4 år). Medlem erhåller årligen fyra nummer av *Geologiskt forum* och fyra häften av föreningens engelskspråkiga vetenskapliga tidskrift *GFF*.

Gör så här: betala medlemsavgiften till Geologiska Föreningen på postgiro 2108-9. Märk inbetalningskortet Ny medlem (alt. ny studerandemedlem) i Geologiska Föreningen, avgift för 2002.

Skriv tydligt namn och adress på inbetalningskortet, tack!

Geologiska Föreningens redaktionsadress

GFF:s redaktion, Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm. Tel. 08-674 7727, Fax. 08-164424; e-post. gff@geo.su.se.

Förhandsvisning Geologins dag i Stockholm

Vecka 35 (26–30 augusti) kommer den naturvetenskapliga fakulteten vid Stockholms universitet i samarbete med Stockholms Akademiska Forum i Kulturhuset att ha foto-utställningar samt video- och bildspel med geologiska teman. Aktiviteterna kulminerar på onsdag den 28 augusti med fasadstens-ekskursioner, kontinentpussel, tidståg och guldvaskning m.m. För mer information se www.natvet.su.se; www.stockholmsakademiskaforum.se

Geologiskt forum 35

Nästa utgåva av *Geologiskt forum* blir ett temanummer med allmänna artiklar i en rad olika geologiska ämnen specialskrivna för Geologins dag.

GEOLOGISKA FÖRENINGENS STYRELSE 2002 (<http://www.sgu.se/gf/gfstyr.htm>)

Birger Schmitz, ordf., Inst. för geovetenskap, Göteborgs universitet, Box 460, 405 30 Göteborg, tel. 031-7734902; birger@gvc.gu.se
Dan Holtstam, sekr., Sekt. för mineralogi, Naturhistoriska riksmuseet, Box 50007, 104 05 Stockholm, tel. 08-51954076; dan.holtstam@nrm.se
Kajsa Hult, skattm., Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-179358; kajsa.hult@sgu.se
Joakim Mansfeld, red., Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, Stockholm, tel. 08-6747727; gff@geo.su.se
Lars Holmer, ledam., Inst. för geovetenskaper, Uppsala universitet, Norbyvägen 22, 752 36 Uppsala, tel. 018-4712761; lars.holmer@pal.uu.se
Mats Rundgren, ledam., Kvartärgeologiska avd., Lunds universitet, Tornavägen 13, 223 63 Lund, tel. 046-2227856; mats.rundgren@geol.lu.se
Claes Mellqvist, ledam., Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-179325; claes.mellqvist@sgu.se



"den svenska föreningen för vetenskaplig, tillämpad och populär geologi"

<http://www.sgu.se/gf>