

nr 46

juni 2005

årgång 12

Geologiskt forum

Sveriges enda geologiska populärvetenskapliga tidskrift

Magnetismen och tiden

Costa Ricas geologi

Svenska mineral (9) – babingtonit



3570

3560

3550

4600 miljoner år på 144 sidor

jordens första viktiga jordskorpebildande period

3570

3560

3550

Varför är vi inte fler?

Geologiska Föreningen har funnits i snart 135 år och är en solid och väl etablerad aktör i det svenska geosamhället. Genom vår förnämliga och ärevördiga tidskrift *GFF* är vi även kända och väl sedda internationellt. Med *Geologiskt forum*, som nu är inne på sitt 12 år, har vi också börjat etablera kontakt med den geointresserade allmänheten och de amatörgelogiska föreningarna. Det senare har förstärkts ytterligare med vårt nära samarbete med Geologins Dag. Vi är alltså en ganska stor aktör i det geovetenskapliga samhället.

Föreningen har idag drygt 500 medlemmar i Sverige. Av dessa är omkring 350 fullbetalande, resten är fria medlemmar och studerandemedlemmar. I Sverige finns dock betydligt fler geovetare än så. Bara på universiteten plus SGU finns lågt räknat uppskattningsvis över 400 anställda geovetare. Räknar vi sedan med skolorna, gruvbolagen, konsultfirmorna, museer och forskningsinstitut, berg- och grusindustrin, cementproducenter etc, för att inte tala om länsstyrelser och kommuner så hamnar vi troligen på över tusen geovetare i Sverige. Hur kommer det sig då att högst en tredjedel av dessa är medlemmar i den enda ämnesmässigt orienterade föreningen vi har? I vårt västra broderland har Geologisk Förening omkring 1300 medlemmar, mest beroende på att de även lyckats engagera geovetare ute i näringslivet. Skulle vi ha sådana medlemsskaror skulle vi vara självförsörjande och slippa externa bidrag. En viktig anledning till att norrmännen har lyckats bättre är att deras förening är organiserad med relativt starka och livskraftiga lokalföreningar. Vi kan nog inte kopiera det systemet rakt av eftersom Sverige redan har många och aktiva lokala föreningar, både på universiteten och bland amatörerna. Skulle vi försöka få till lokalföreningar av Geologiska Föreningen skulle detta antagligen bara leda till osund konkurrens och kannibalism. Jag tror mer på en modell där Geologiska Föreningen kan fungera som en nationell paraplyorganisation. På så sätt kan man få samordningsvinster om man till exempel vill ordna en längre exkursion eller en kongress. Årsmötena 2003 och 2004 visade att detta kan vara en lyckad modell. Vid dessa möten stod Geologiska Föreningen och den lokala studentföreningen i Stockholm respektive Lund som värd. Vid båda tillfällen lyckades vi troligen attrahera fler deltagare än vad respektive organisation skulle klarat av själva. Genom *Geologiskt forums* redaktionsråd har föreningen dessutom kontakt med några av de amatörgelogiska föreningarna. Det kan således finnas anledning för Sveriges geovetare att vara medlem i Geologiska föreningen. Naturligtvis ska inte enbart solidaritet med föreningen vara huvudskälet för att vara medlem, utan man vill ju få något tillbaka också. Det är här som vi i Geologiska Föreningen måste bjuda till. Det räcker nog inte bara med att producera tidskrifter, utan vi måste även erbjuda annan verksamhet. Geologiska Föreningen borde till exempel vara den ideala parten när man vill ordna nationella (och internationella) symposier och exkursioner. På så sätt kan vi bli den naturliga samlingspunkten för svensk geovetenskap, och därmed förtjäna de medlemsskaror som vi så väl behöver.

Joakim Mansfeld



Omslagsbilden

Ett utsnitt av den flygmagnetiska kartan Vetlanda SO. Den stora anomalin (blå färger) utgörs av en åtta kilometer lång gabbrokropp väster om Virserum i centrala Småland. I övrigt domineras området av äldre (omkring 1830–1820 miljoner år) granitiska bergarter. Magnetiska data används av många av oss geovetare utan att vi egentligen förstår denna kanske naturens mest underliga kraft. Läs, och lär, mer om detta svåra ämne i artikeln av Erik Eneroth på sidorna 17–25.

Från SGUs flygmagnetiska databas. Sveriges geologiska undersökning (SGU). Medgivande: 30-954/2005.



Geologiskt forum utges av Geologiska Föreningen (Sveriges riksförening för geologi), i samarbete med Föreningen för Geologins Dag, och med ekonomiskt stöd från Sveriges geologiska undersökning.

SGU

Sveriges geologiska undersökning

Ansvarig utgivare, redigering och layout: Joakim Mansfeld
Foto och illustrationer (om inte annat anges): Joakim Mansfeld

Redaktionens adress:

GF:s redaktion, institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet,
106 91 Stockholm, tel 08-6747727, fax 08-164424;
gff@geo.su.se; www.geologiskaforeningen.nu

Geologiskt forum trycks helt i fyrfärg i ca 1500 ex. av Alfa Print AB, Sundbyberg

Distribution, prenumerationsärenden, adressändring och köp av tidigare nummer:

Swedish Science Press, Box 118, 751 04 Uppsala, postgiro 4897850-6, bankgiro 914-4601, tel 018-365566, fax 018-365277; info@ssp.nu.

ISSN 1104-4721

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.

Redaktionsråd:

Jan Bergström, Holger Buentke, Christer Carlberg (Hallands Geologiklubb), Ingemar Cato, Rolf Frankenberg (Upplands Geologiska Sällskap), Emil Gregori (Tunabygdens Geologiska Förening), Dan Holtstam, Antti Hulterström (Västerbottens Amatörgeloger), Mikael Jansson (Bergslagens Geologiska Sällskap), Erik Mofjell (Göteborgs Geologiska Förening).

Tidskriften ingår i det ordinarie medlemskapet i Geologiska Föreningen.

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

Ordinarie lösnummerpris: 50 kr.

I DETTA NUMMER

Varför är vi inte fler?	J. Mansfeld	2
Geotiser		3
Ett gammalt fynd av en egendomlig blå sten	D. Holtstam & J. Söderhielm	4
Banangeologi – en färd till Costa Rica	E. Sturkell	8
Svenska mineral (9) – babingtonit	P. Nysten	14
Magnetism och tid	E. Eneroth	17
Torsprickor i sediment under vatten, hur tusan går det till?	M. Johansson	26
Sven Hjelmqvist (1908–2005)	R. Gorbatshev, K.-A. Kornfält, T. Lundqvist	
	L. Persson, R. Stanfors, H. Wikman	28
Erik Fromm (1915–2005)	J. Lundqvist	30

Geotiser

Geologiska Föreningens Hjärnepris

Geologiska Föreningens styrelse har beslutat tilldela Lars Werdelin Föreningens Hjärnepris för hans betydande populärvetenskapliga produktion. Lars Werdelin har varit verksam i många år och bland annat översatt nitton böcker rörande paleontologi och evolution, där särskilt verk av Stephen J. Gould kan nämnas. Han har dessutom medverkat i flera TV- och radioprogram. Han ledde också det vetenskapliga arbetet med Naturhistoriska riksmuseets huvudutställning "4 1/2 miljarder år. Jordens och livets historia".

Gruvnotiser

ScanMining har beslutat öppna gruvan Blaiken-Svartträsk för utvinning av guld och zinkmalm. Under sommaren påbörjas avrymningsarbeten, och gruvbrytning beräknas komma igång i början av 2006.

Lappland Goldminer har fått exploateringsstillstånd för Fäbolidenfyndigheten. Totalt har 149 borrhål på totalt över 23 km gjorts. En malmreserv på 21 ton och en möjlig reserv på 14 ton guld ner till ett djup av omkring 200 meter har identifierats. Dessutom verkar malmen fortsätta åtminstone till 350 meters djup.

International Gold Exploration AB har upptäckt en minst 200 meter lång mineraliserad zon med sällsynta jordartsmetaller samt niob, gallium och scandium vid Olserum i närheten av Västervik i Småland. Malmreserven har genom borrhningar uppskattats vara omkring 2,8 ton malm med ett beräknat värde av 2,9 miljarder kr.

North Atlantic Resources, NAN, har funnit fler möjliga koppar-zinkfyndigheter i närheten av bolagets gruva Storliden.

Beowulf Mining Plc. har genom borrhningar av en geofysisk anomali funnit en fyndighet med upp till

10 g/ton guld och 200 g/ton silver vid Grundträsk i Skelleftefältet.

Tertiary Minerals plc. tänker börja provborra en möjlig massiv nickel-kopparmalm vid Notträsk, som identifierats genom en omfattande geofysisk undersökning.

Källa: SGUs Exploration Newsletter, May 2005

Felande dinosaurielänk funnen

De första dinosaurierna var köttätande. Med tiden utvecklades dessa i olika evolutionära riktningar, vissa förblev köttätande, andra blev växtätande. De senare utvecklades till att bli de enorma långsamma bjässarna som vi bland annat förknippar med begreppet dinosaurier. Övergången från en kött diet till en växt diet skedde samtidigt som blommande, smakfulla växter först uppträdde på jorden. Man har dock inte funnit några evolutionära mellanformer mellan de små (relativt sett) kvicka köttätarna och de stora växtätarna.

Nu har dock ett 125 miljoner år gammalt fossil från Utah upptäckts som kan kasta ljus över hur de växtätande dinosaurierna uppkom. *Falcarius utahensis* hade platta tänder, tendenser till tjockare och kortare ben och en mage som kunde utvidgas, typiska drag för en växtätare. Djuret gick på två ben, hade starka framben och vassa böjda decimeterlånga klor, drag som är typiska för köttätande dinosaurier. *Falcarius utahensis* var omkring 4 meter lång och 1,4 meter hög. Man anser också att det hade fjädrar och representerar därmed även en av de tidigaste exemplaren i gruppen therizinosaurier som även innefattar befjädrade dinosaurier och maniraptorer (t.ex. velociraptor).

Källa: Geologisk Nyt 2/05

3510

3500

3490

Nordens äldsta bergart
Siurua trondhjemitgnejs, Pudasjärvi, Finland

Jordens äldsta gångsvärm
Tarsartog-Amerilik, Grönland

3510

3500

3490

Ett gammalt fynd av en egendomlig blå sten



I många mineralsamlingar döljer sig okända skatter. Proverna behöver inte alltid vara så värdefulla utan det är historierna hur de hittats och till slut hamnat i samlingen som är det intressanta. I artikeln berättas om ett märkvärdigt mineralprov i Naturhistoriska riksmuseets samlingar.

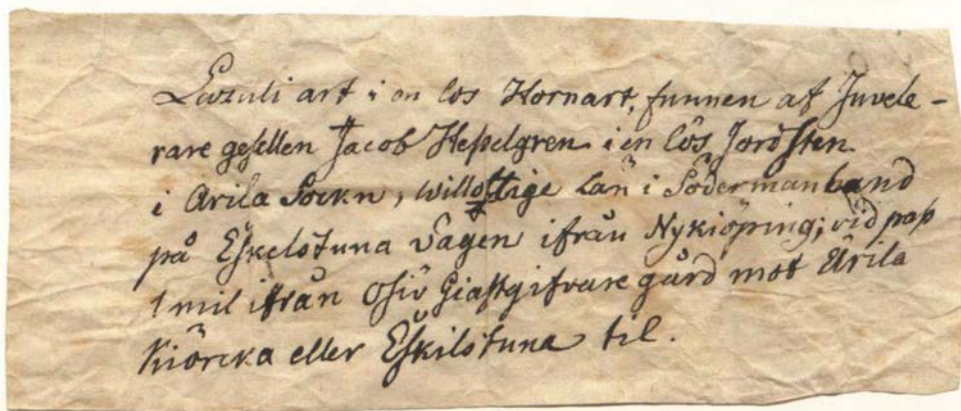
AV DAN HOLTSTAM & JOHAN SÖDERHJELM

I en mineralsamling från 1700-talet påträffades nyligen prover av en märklig blå sten, som ursprungligen hittats nära Ärla i Södermanland av en blivande juvelerare. Den visade sig bestå av det sällsynta fosfatmineralet lazulit, som inte hör hemma i den lokala geologiska miljön. Boven i dramat kan möjligen vara ett isberg, som flöt omkring för 10 000 år sedan.

I Bergskollegiums samling finns tusentals geologiska prover som insamlats i äldre tid – främst under 1700-talet – av kollegiets egna tjänstemän. Den överfördes till Naturhistoriska riksmuseet 1857 i samband med Bergskollegiums avveckling. Föremålen är av vetenskapshistoriskt intresse och åtskilliga kan också tänkas vara en resurs för modern forskning. Ett par stuffer i samlingen ådrog sig vår uppmärksamhet, tack vare att de var tryfferade av ett vackert blått mineral, och på grund av den intresseväckande dokumentation som åtföljde dem.

Den mest utförliga av de ursprungliga stuffetiketterna innehåller följande information: "Lazuli art i en lös Hornart, funnen af Juvelerare gesellen Jacob Hesselgren i en lös Jordsten i Ärila Sockn, Willottige Län i Södermanland på Eskelstuna vägen ifrån Nykiöping; vid pass 1 mil ifrån Osiö Giästgifvare gård mot Ärila Kiörcka eller Eskilstuna til." I katalogen över Bergskollegiets samling står det om den andra stuffen "Lazursten, blå, grynig, slipad på två sidor, sittande vid rödbrun Fälltspat, med grå Quartzfläckar. Har mycket hög blå färg, och är funnen i en lös Geschiebe, samt lämnad till Baron Tilas af stensliparen Fechtiger, som lämnat följande Beskrivning därom, 'Der Lapus ist gefunden in der[?] man lant in Erlers socken.' Stenen har [oläsligt] lösare och blekare fläckar i massan."

De geografiska namnen och den ålderdomliga stavningen av dem gav inledningsvis upphov till en del bryderier, men efter konsultationer med både



Den äldsta bevarade etiketten. Originalen mäter 65x160 mm.



En av de två stofferna, ca 35x55 mm, med lazulit (mörkblått mineral) i Naturhistoriska riksmuseets samling (nr. 57:7452).
Foto Frej Sandström.

Landsarkivet och Språk- och folkminnesinstitutet stod det klart att det handlade om Ärla socken och Villåttinge härad i Södermanland. Det omnämnda gästgiveriet låg i byn Hosjö nära Malmköping, mellan Nyköping och Eskilstuna.

Närmare upplysningar om den omnämnda upphitaren, Jacob Hesselgren, har inte stått att få. Klart är att Frantz Michael Feijchtinger (Feychting), en Stockholmsjuvelerare och möjligen Hesselgrens mästare, överlämnade prover till Bergskollegium och bergsrådet Daniel Tilas (1712–72), vilken var en framstående bergsvetenskapsman och inflytelserik politiker (hatt) vid den tiden, men som ännu ej hade nått kulmen på sin karriär. Tilas var en flitig resenär över hela Skandinavien och beskrev otaliga malmfält och fyndigheter. Han hade många offentliga uppdrag, bl.a. som ledamot i kommissionen för Finlands upphjälpande 1753–55. Under hösten 1768 var han kronprins Gustavs (III) främste följeslagare på en resa i Bergslagen.

Vi har inte kunnat bestämma en exakt tidpunkt för när det ursprungliga fyndet gjordes. Enligt ett protokoll från Bergskollegium behandlades ett ärende med en "trapp" (d.v.s. diabas) av Tilas och de övriga församlade bergsråden den 12 december 1757, vilken hade

påträffats av Hesselgren i Ärla socken. Detta visar att han hade vistats området och gjort observationer vid denna tid. Av större intresse är delar av en brevväxling (bevarad i Kungl. Bibliotekets brevsamlingar) som ägt rum mellan mineralogen Axel Fredrik Cronstedt (1722–1765) och Tilas år 1760: "... Sörmlands Lazuli har iag fådt en liten bit af genom en liten qvacksalvare, som sprang med Ärla svarta agat (:Trappen) ... iag gierna gifvit 4 plåtar för den utbudne ... [daterat 21 februari]". Fyndet gjordes alltså rimligen före 1760, och materialet var känt och till del distribuerat bland tidens naturvetenskapsmän, men har uppenbarligen sedan fallit i glömska.

Efter "nyupptäckten" inställer sig nu en del frågor, bl.a: Vad består "lazurstenen" egentligen av? Hur har den hamnat på den plats där gesällen Hesselgren fann den?

Materialet

De kända proverna består av två stycken, en handflatestor sågad skiva och en mindre bit. De bör härröra från ett större block som delades upp redan någon gång



Kartskiss med de omnämnda orterna. Röd linje markerar Malmköpingsåsens sträckning i området.

på 1700-talet. Det mörkblå mineralet, som bildar flera cm breda körtlar, är lazulit, $(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$. I sammanhanget är det intressant att återge en rad i ett senare brev från Cronstedt till Tilas: "Den svenska Lapis/: hvars födelseort dock icke är mig noga bekant:/ samt wisa at det icke är någon fluss, utan till äventyrs en jernmalm, slägt med Naturlig Berliner Blå [daterat 14 maj 1760]". Cronstedt kom genom ett enkelt försök fram till att det inte var fråga om vanlig lapis lazuli (natrium-aluminiumsilikat innehållande svavel), utan en järnhaltig substans.

Omgivande mineral är mörkgrå kvarts och ljus gråbrun andalusit, Al_2SiO_5 . Augelit, $\text{Al}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})_3$, förekommer som vitaktiga korn i lazuliten. Pyrofyllit, hydrerat aluminiumsilikat, är en omvandlingsprodukt av andalusit och uppträder som rödaktiga stråk längs korngränser och sprickor. I små mängder förekommer baryt, rutil, apatit, svanbergit och woodhouseit (de två sistnämnda mineralen är ovanliga aluminiumförande Sr-Ca-sulfat-fosfater).

Den beskrivna associationen av aluminiumrika fosfater, aluminiumsilikat, kvarts och titanoxid bildar en sällsynt men lätt identifierbar bergart. Ett antal förekomster med denna karaktär är kända från Sverige, och de kallas ibland för "kyanitkvartsitfyndigheter" eftersom det dominerande aluminiumsilikatet oftast är kyanit. De är till sin utbredning begränsade till den s.k. Protoginzonen, en välkänd tektonisk zon av svekonorvegisk ålder (ca 1 miljard år gammal) med nord-sydlig utbredning. Fyndigheternas namn är Hålsjöberg och Diksberg i Värmland, Hökensås i

Västergötland samt Västana i Skåne. De har ett omtvistat ursprung (se t.ex. Ek & Nysten 1990 och Larsson 2001), vilket dock inte behöver beröras närmare här. Emellertid är det av betydelse, att bergarter med denna speciella mineralsammansättning inte är kända från några andra geologiska provinser i landet.

Fyndplatsens geologi

Utifrån uppgifterna om platsen för upptäckten (en gammal svensk mil motsvarar 10 668 m) har vi kommit fram till att fyndet bör ha gjorts någonstans längs den gamla vägen, som i det aktuella avsnittet följde ovanpå en mäktig ås, lokalt benämnd Malmköpingsåsen. Den är hög (ca 60 m.ö.h.) och ställvis bred, och består av isälvsavlagringar dominerade av grova bergartsfragment av regionalt ursprung. Omfattande täktverksamhet har i modern tid bedrivits i denna del av åsen. När området blev isfritt efter den senast glaciationen, för 10 000 år sedan, låg det helt under vatten (den högsta kustlinjen ligger här på ca 150 m). I samband med landhöjningen har torrlagda delar av åsen blivit utsatta för vågor, och s.k. svallsediment har bildats. Området domineras annars av blockrik terräng med ett relativt tunt täcke av morän (mestadels sandig-moig). Isrörelseriktningen, bestämd från hållar med isräfflor, är i trakten N20–25°V. Den prekambrika berggrunden består främst av sedimentådergnejser och deformerade graniter av äldre typ (Magnusson 1987).

Geologisk tolkning av fyndet


En rimlig utgångspunkt för en diskussion är att den unika bergarten faktiskt har sitt ursprung i Protoginzonen och sedan hamnade i Ärlatrakten i samband med de omdanande geologiska processer som ägde rum under den senaste istidens (Weichselistiden) slutfas. Ismassors förmåga att genom sitt dynamiska flöde kunna bryta sönder berggrunden och transportera material är välkänd, och detta faktum utnyttjas ibland vid prospektering efter malmfyndigheter. Det är möjligt eftersom isrörelsen normalt sker i en bestämd riktning, från de tjockaste delarna ut mot isranden. Två saker talar dock emot att Ärlamaterialet skulle ha varit ett flyttblock transporterat enbart genom isflöde. Om man studerar kartbilden med den huvudsakliga isrörelseriktningen under istidens senare skede inser man att det är svårt att koppla ihop en fungerade transportväg från en tänkt källa någonstans längs Protoginzonen och fyndplatsen i Södermanland.

3410

spår av liv? (svavelisotoper)

3410

3400


 äldsta lågtitanbasalterna på månen

3400

3390

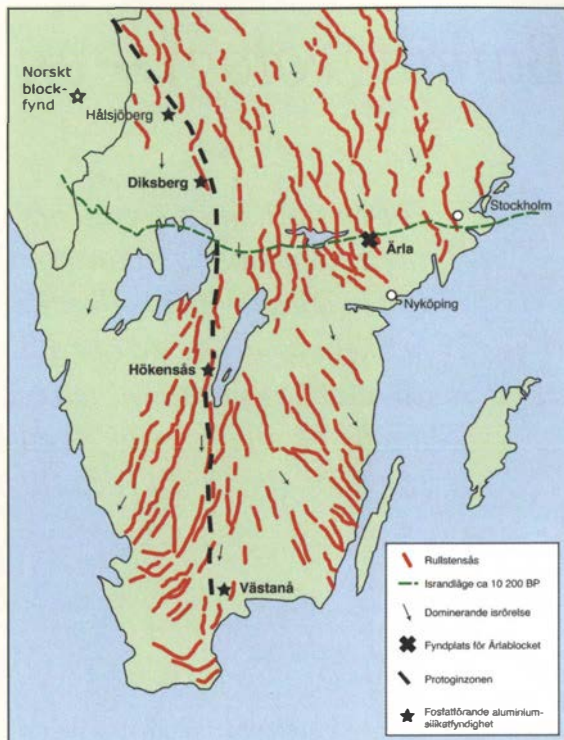
3390

Det är också känt att isens transportförmåga avtar med avståndet, och att det mesta av det uppluckade bergmaterialet deponeras redan några få kilometer från moderklyftet; en transportsträcka längre än 100 km, som skulle var nödvändigt i detta fall, är därför mindre sannolik.

Ett möjligen mer effektivt transportsätt kan erbjudas av de stora mängder smältvatten som bildas i en stagnerande inlandsis. Vattnet flödar fram i tunnelsystem som etablerat sig i sprickor i isen, och drar med sig stora mängder löst material som så småningom sedimenterar. Resultatet kan bli de stora rullstensåsar, som vi ju har ett bra exempel på i Ärlatrakten. Malmköpingsåsen är en del av ett stort sammanhängande system av åsryggar, vilka gemensamt benämns Strömsholmsåsen, och som kan följas en bra bit upp i Västmanland. Sträckningen är emellertid inte särskilt gynnsam i sammanhanget. Inte heller en kombination av is- och isälvstransport synes kunna erbjuda en tillfredställande modell.

I det som vi finner det vara det mest sannolika scenariot får ett isberg spela huvudrollen. Längs med kanten av en ismassa som retirerar över ett område beläget under havsytan bildas shelfis, d.v.s. utstickande istungor som vilar på vattnet. Som bekant är det i en sådan miljö som stora isblock kan brytas loss och flyta iväg (s.k. kalvning). När trakten kring Ärla blivit isfri befann sig Malmköpingsåsen dränkt av Yoldiahavet, som existerade i Östersjöområdet från ca 10 300 till 9600 år före nutid. Detta hav hade kontakt med världshaven genom ett stort sund i Västergötland. Det fanns alltså goda chanser för ett isberg, med infruset berggrundsmaterial, att förflytta sig långt bort från en kalvningsbukt i Protoginzonens närhet. Det är väl belagt att flyttblock kan transporteras avsevärda sträckor med isberg och slutligen deponeras ovanpå befintliga sediment på någon helt annan plats (fenomenet benämns *ice-rafting* i den vetenskapliga litteraturen). Det förefaller fullt möjligt att det gått till på detta sätt även i Ärlafallet.

Naturligtvis går det inte att fullständigt utesluta att det lazulitförande blocket, som av en lycklig slump påträffades av Hesselgren för omkring 250 år sedan, härstammar från en okänd fyndighet som inte alls är bunden till stråket längs med Protoginzonen. Författarna till denna notis ägnade en dag åt att spana längs med åsen, och i ett stort grustag som skär i igenom den i närheten av den förmodade fyndplatsen, i hopp om att hitta mer material, vilket dock var förgäves. Fyndets sporadiska natur talar onekligen för en långväga transport. Det kan tilläggas att ett löst block med kyanit, lazulit, svanbergit etc. påträffats även vid Storsjön i Norge. Icke-geologiska förklaringar, som involverar transport genom människans försorg, torde



Södra Sverige, med Protoginzonen och kända fosfat-aluminium-silikatfyndigheter, samt relevanta kvartärgeologiska drag.

falla på det faktum att de idag kända fyndigheterna inte var upptäckta vid 1700-talets mitt.

Litteratur

- Donner, J., 1995: *The Quaternary history of Scandinavia*. Cambridge University Press, Cambridge. 200 s.
- Ek, R. & Nysten, P., 1990: Phosphate mineralogy of the Hålsjöberg and Hökensås kyanite deposits. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 112, 9–18.
- Larsson, D., 2001: Transition of granite to quartz-kyanite rock at Hålsjöberg, southern Sweden: Consequence of acid leaching and later metamorphism. *GFF* 123, 237–246.
- Magnusson, E., 1987: Beskrivning till jordartskartan Eskilstuna SO. *Sveriges geologiska undersökning Ae* 89, 1–61.

Dan Holtstam är docent och forskningssekreterare på Vetenskapsrådet; dan.holtstam@vr.se. Johan Söderhielm är intendent vid Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet.

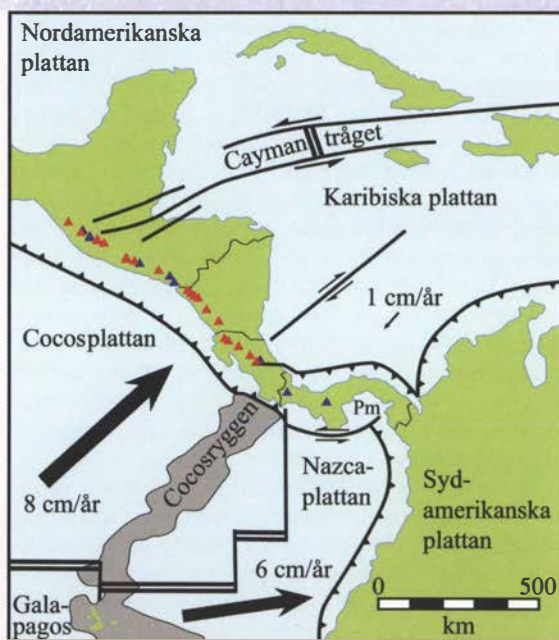
Banangeologi – en färd till Costa Rica

För en naturintresserad har Costa Rica det mesta: stränder, regnskogar och vulkaner. Man kan skriva hyllmetrar om Costa Ricas natur (vilket har gjorts). Avsikten med den här artikeln är att ge en överblick över landets geologi. De mer än hundra vulkanerna, en oceanplatta som subduceras under landet så snabbt som 8 centimeter per år och att landet är tropiskt, gör Costa Rica till ett spännande resmål.

AV ERIK STURKELL

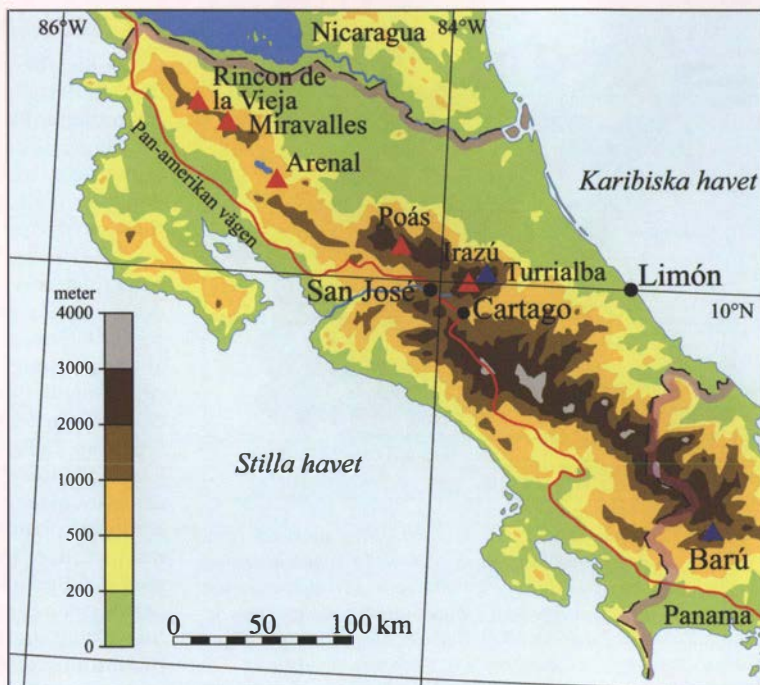
Costa Rica ligger i Centralamerika mellan de mer utrikespolitiskt kända länderna Nicaragua och Panama. Läget mitt i Centralamerika ger landet två kuster, en mot Karibiska havet i öster och en mot Stilla havet i väster. Längs den senare löper en subduktionsgrav och parallellt med denna ligger vulkanerna på rad. Här finns fem vulkaner som har eller har haft utbrott de senaste hundra åren. Dessa är Irazú och Poás i den centrala bergskedjan, Tenorio, Miravalles och Rincón de la Vieja i bergskedjan Cuanacastel (se kartan på motstående sida). Vulkanen Turrialba hade sitt senaste utbrott 1866, och kan räknas in i gruppen av de mest aktiva vulkanerna i Costa Rica. Av dessa är det nog Arenal, Irazú och Poás som är de mest kända. Vulkanen Arenal inledde sin senaste eruption 1968 och utbrottet pågår än i dag. Vulkanen Irazú hade sitt senaste utbrott från 1963 till 1965.

Costa Ricas huvudstad San José ligger i centraldalen (Valle Central) där botten utgör en platå på tusen meters höjd. Detta ger området ett behagligt torrt och svalkande klimat under vintern. Sommaren är däremot fuktig eftersom regnperioden infaller då. Många av Costa Ricas övriga städer ligger i centraldalen och två tredjedelar av landets befolkning bor här. Längs den nordliga dalsidan reser sig en kedja av aktiva vulkaner, så man kan säga att San José och de andra städerna bildligen ligger i vulkanernas skugga, trots att städerna ligger på vulkanernas sydsluttningar. Centraldalens platå har djupt nedskurna floddalar ned mot kusten. Den panamerikanska vägen (den delen som går igenom Centralamerika kallas också den intra-amerikanska vägen), vilken löper från Alaska till sydligaste Argentina, slingrar sig upp till central-



Den plattetektoniska situationen i Centralamerika, där Cocosplattan subduceras med en hastighet av 8 cm/år in under Costa Rica. Parallellt med subduktionsgraven ligger ett pärlband av vulkaner; hela vägen ner till och med vulkanen Irazú. Därefter saknas aktiva vulkaner längs en sträcka av 175 km parallellt med subduktionsgraven. Cocosryggen är en förtjockad del av Cocosplattan och orsakar så kallad grund subduktion. Förkortningen Pm i bilden står för den Panamanska mikroplattan.

Karta över Costa Rica med närområde, de två grannländerna Nicaragua i norr och Panamá i öster. De sex mest aktiva vulkanerna är markerade med röda trianglar. Huvudstaden San José ligger i centraldalen som sträcker sig i öst-västlig riktning.



dalen. Längs denna, på sina ställen krokiga, väg sker all transport från kusten upp till huvudstadsområdet. Staden Cartago som ligger i centraldalen var Costa Ricas kulturella vagga och dess huvudstad från 1563. Staden har drabbats av ett flertal kraftiga jordskalv, varav ett inträffade 1823. Detta skalv bidrog till att huvudstaden

flyttades till San José. Flyttningen var dock huvudsakligen politisk i efterdyningarna till inbördeskriget (1821–23). År 1910 drabbades Cartago av en ny jordbävning som omintetgjorde slutförandet av katedralen. Ruinerna av detta bygge ingår numera i en park.



Den smala Panamerikanska vägen om slingrar sig upp mot centraldalens platå.

3320

3310

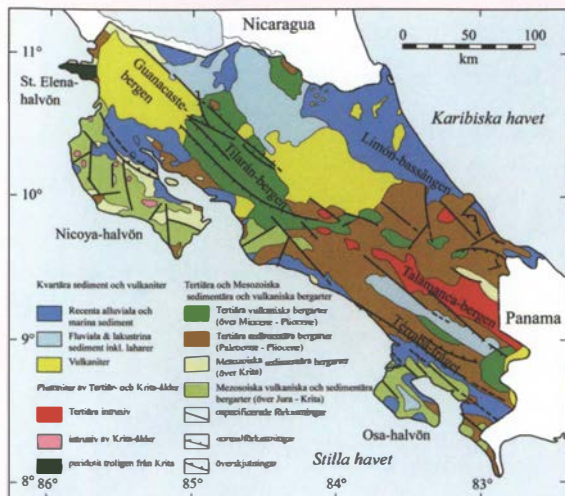
3300

intensiv lågtitanbasaltvulkanism på månen (Mare-vulkanism)

3320

3310

3300



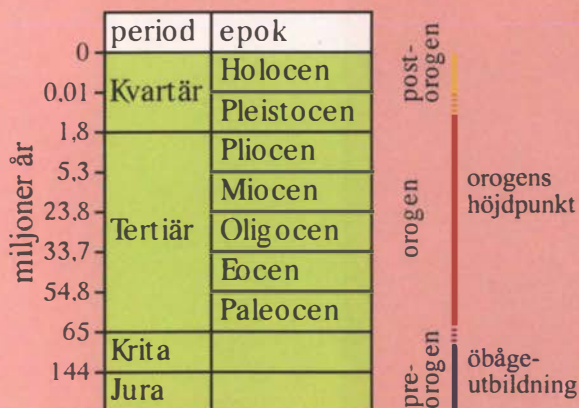
En förenklad geologisk karta av Costa Rica omritad efter Castillo-Muñoz (1983). De stora tektoniska komponenterna kan indelas i en yttre båge och en inre båge, Terrabatråget och Limónbassängen. Den yttre bågen följer Stilla havskusten längs St. Elenahalvön, Nicoyahalvön till Osaahalvön. Den inre bågen följer Guanacastelbergen, Tilaránbergen och Talamancabergen.

Plattektoniken

Costa Rica ligger i en spännande platttektonisk miljö, med ett flertal plattor som möts, med den Panamanska mikroplattan i mitten (se kartan till vänster). Halva Costa Rica ligger på denna platta. De riktigt stora kontinentplattorna utgörs av den nordamerikanska plattan i norr och den sydamerikanska plattan i söder. Cocosplattan, som rör sig snabbt med en hastighet på 8–9 cm/år, subduceras in under Centralamerika. Sydost om Cocosplattan ligger Nazcaplattan, vilken rör sig österut och subduceras in under den sydamerikanska plattan med en hastighet av 6–7 cm/år. Gränsen mellan Cocos- och Nazcaplattorna utgörs av en spridningsrygg och transformförkastningar mellan riftsegmenten. Den Karibiska plattan rör sig långsamt (1 cm/år) i sydlig riktning och den konsumeras på tre av fyra sidor. Det är bara i norr, vid det Caymanska tråget, (se kartan på sidan 8) som viss tillväxt sker. Den senare är en dra-isär-bassäng (pull a part basin, tensionsbassäng). Den Karibiska plattan subduceras in under den Panamanska mikroplattan. Den senare rör sig österut och kolliderar med den Sydamerikanska plattan. Dess västra gräns är otydlig men går tvärs över Costa Rica med en ungefärlig öst–västligt sträckning genom centraldalen. Plattgränsens fortsättning efter centraldalen är dock inte helt klar. I centraldalen har plattgränsen en sidoförskjutande (strike-slip) karaktär. Jordskalven som sker i centraldalsområdet har vanligen magnituder upp till 5–6 och de är grunda (ligger på cirka 15–20 km djup). Dessa grunda jordskalv kan vara förödande. Kollisionen och subduktionen av den Karibiska plattan med den Panamanska mikroplattan

Faktaruta

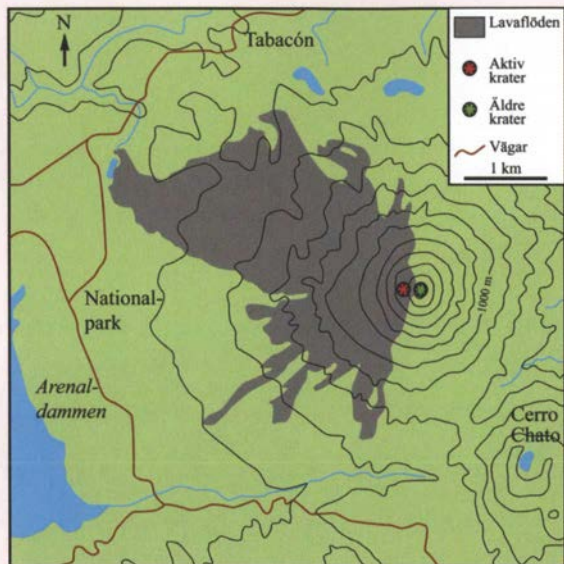
Costa Ricas regionala geologi



Costa Ricas natur är beskriven i boken *Costa Rican natural History* (Castillo-Muñoz 1983). Boken koncentrerar sig på djur och växter och ger en bra översikt av dessa ämnen. Ett kapitel i boken handlar dock om Costa Ricas geologi, och det är därifrån texten nedan är hämtad.

Costa Ricas geologiska historia går tillbaka till yngsta jura och geologin delas in baserat på bergarter och åldrar i mesozoiska vulkaniska och sedimentära bergarter (jura och krita), tertiära sedimentära, vulkaniska och intrusiva bergarter och slutligen i kvartära sediment och vulkaniter.

De stora tektoniska dragen i Centralamerika följer en båge från nordväst till sydost. Det förekommer också en öst–västlig tektonisk trend som exemplifieras av centraldalen och av Santa Elena-halvön (se kartorna på föregående sida och ovan). De stora tektoniska komponenterna kan indelas i en yttre båge och en inre båge, Terrabatråget och Limónbassängen. Den yttre bågen följer Stilla havskusten och består av vulkaniter, sediment och intrusiv bildade under jura och krita. Den inre bågen är bergskedjebildningens (orogenesens) huvudområde och ligger nordöst om den yttre bågen. Gränsen mellan dessa utgörs av en serie förkastningar som huvudsakligen stryker



Topografisk karta över Arenal med sina två toppkratrar. Höjdlinjerna har hundra meters ekvidistans. Höjdlinjerna på kartan har ej uppdaterats med utbrottet. Den högsta punkten idag är den nya kratern. Lavaströmmarna har runnit sedan 1968, åt sydost de första åren och på senare tid mera mot nordväst. Den mest kända turistanläggningen med sina varma källor ligger i Tabacón. Sydöst om Arenalvulkanen ligger den 3500 år gamla vulkanen Cerro Chato. Förlagan till karta är hämtad på Smithsonians hemsida (www.volcanosi.edu).

nordväst-sydost. Den inre bågen består av ett flertal enheter, så som bergskedjan Talamance och dess sluttningar, vilka består av sedimentära, vulkaniska och plutoniska tertiära bergarter. Centraldalen består av vulkaniska bergarter och en del tertiära sedimentära bergarter. Det område som utgörs av bergskedjan Tilarán domineras av tertiära och kvartära vulkaniter. Terrabatråget ligger mellan bergskedjan Talamance och Osahalvön och består huvudsakligen av tertiära sediment och vulkaniter. Nordost och öster om den inre bågen ligger Limónbassängen, vilken innehåller en tjock sekvens av tertiära sediment. Upplyftningen av bergskedjan Talamance bidrog till en omfattande erosion och en direkt deposition och veckning. Stora delar av Limónbassängen täcks av kvartära vulkaniter och sediment.

Bergskedjan Talamance i de centrala delarna av Costa Rica är i stort parallell med Cocosplattans subduktionszon. Kärnan av Talamancabergskedjan består av sen-miocena intrusiv, vilka har blivit upplyfta och blottade på ytan. Detta gör dessa endast sex miljoner år gamla intrusivbergarter till de yngsta djupbergarter som är exponerade Costa Rica.

resulterar i jordskalv på den Karibiska sidan. Det senaste stora jordskalvet inträffade 1991 med sitt epicenter nära staden Limón (se kartan på sidan 9). Skalvet hade en magnitud av 7,4. Minst tjugosju personer omkom och det orsakade omfattande skador på hus och vägar. Det medförde också upplyftning av kustområdet med 1,5 meter. Detta ledde till att de koraller som levde nära vattenytan plötsligt var ovanför densamma.

Den tektoniska historien

Bergskedjeveckningen som Costa Rica upplevt kan indelas i en pre-orogen, en syn-orogen och en post-orogen fas. Den pre-orogena fasen börjar i jura, i och med bildningen av en öbåge (den yttre bågen) med både sub-marina och sub-aerila vulkaniter. Erosionen satte i gång direkt och gav klastiska sediment, men också karbonater och kiselsediment. Detta fortgick till slutet av krita, då viss metamorfos skedde och en intrusiv fas inträdde. Dessa bergarter ingår i den grupp som kallas Nicoyakomplexet, som har sin största utbredning på Nicoyahalvön. På halvön Santa Elena finns peridotit som bildades under denna tidiga intrusiva fas, samtidigt med den tidiga deformationen. Efter detta, under senkrita, följde deposition av sediment. Sedimenten består av likåldriga vulkaniska utbrottsprodukter. Tolkningen av berggrunden blir komplicerad då underlaget och avlagringarna i stort sett består av samma material. Upplyftning, veckning, förkastningar och erosion skapar ett lapptäcke av olika geologiska enheter, vilka gör den geologiska kartan färgglad (se kartan på föregående sida). Den inledande fasen av orogen kan inte direkt separeras från dess huvudfas utan den bör betraktas som dess ouvertyr. Orogenesen kommer igång på riktigt i slutet av krita, och den vulkaniska aktiviteten fortgår utan avbrott. Den orogena axeln flyttas österut (den inre bågen bildas) och bildningen av sedimentationsbassänger sker i öster. Två separata bassänger utvecklades på var sin sida om bergskedjan Talamance och den inre vulkanbågen. Dessa är Limónbassängen i öster och Terrabatråget i väster. Orogenesens höjdpunkt inträder i miocen och den följs av plutonisk aktivitet (bl.a. bildas granodiorit gabbro och granit) längs den orogena axeln. Omfattande vulkanism ägde rum under den senare delen av orogenesen (senmiocen och pliocen). För cirka 6 miljoner år sedan kolliderade Panamåöbågen med den nordvästra delen av den Sydamerikanska plattan. Denna kollision ledde till veckning av de östra delarna av det Panamånska deformationsbältet, och skar av förbindelsen mellan Atlanten och Stilla havet. Detta ändrade mönstret för havscirkulationen och medförde globala klimatförändringar. Tiden från slutet av pliocen till idag räknas som post-orogen och karaktäriseras av extensiv vulkanism och förkastningstektonik. Under denna period har bergskedjorna Guanacatel och den centrala bergskedjan byggts upp genom den vulkanism som ännu fortgår.

3250

3240

3230

3250

3240

3230

sfäroidala bakterier?
Fig tree, Barberton



Stratovulkanen Arenal från öster, den ännu gröna sidan. Vulkanen är en nästan perfekt kon med två toppar.

Vulkanhälet

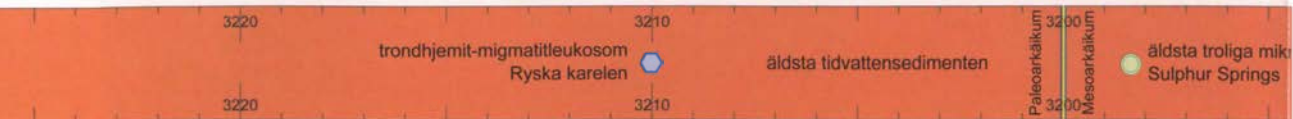
Längs den Centralamerikanska Stillahavskusten bildar stratovulkaner ett pärlband parallellt med Cocosplattans subduktionszon (se kartan på sidan 8). Detta täta pärlband har ett gap utan aktiva vulkaner på en 175 km lång sträcka, från det aktiva Irazú-Turrialbakomplexet till vulkanen Barú i västra Panama som hade sitt senaste utbrott för 1500 år sedan.

Cocosryggen är en förtjockning av Cocosplattan, som orsakats av plattans rörelse över Galapagosöfläcken. Subduktion av denna tjockare del av plattan orsakar s.k. grund subduktion och effekten är att skorpan lyfts upp framför subduktionsgraven (Kolarky et al. 1995). Den grunda subduktionen lyfter upp Talamamcabergskedjan upp till 3800 m höjd, vilket gör massivet till det högsta i södra Centralamerika.

Vulkanism

Costa Ricas mest kända vulkan är troligtvis Arenal (se kartan på sidan 9) som inledde det pågående utbrottet 1968. Vulkanen är 1657 meter hög och reser sig 1400 meter

över den flacka terrängen och bildar en nästan perfekt kon (med två toppar). Tyvärr är vulkanen oftast gömd under tunga moln, men dessa lättar ibland något (se fotot ovan). Vulkanen är andesitisk och den yngsta stratovulkanen i Costa Rica. Utbrottet 1968 kom överraskande eftersom förvarningarna att något höll på att ske inskränkte sig till att folk såg rök stiga upp från vulkanen endast en dag före det inleddes. Innan dess hade vulkanen varit sovande sedan första hälften av 1500-talet. Den pågående utbrottsepisoden har en varierande intensitet med explosiva faser, pyroklastiska flöden och lavaproduktion. Vulkanen har nu två toppar (se topografiska kartan på föregående sida), varav den högsta har bildats under det pågående utbrottet. Från den nya toppkratern strömmar lava ned längs vulkanenssidor. Lavaströmmarnas flödesriktningar ändras med tiden. I början av utbrottet rann lavan främst mot sydväst, och vid vulkanens sydvästra fot inrättades en nationalpark (se kartan på föregående sida). Efter inrättandet av parken ändrade lavan sin färdväg, och flödar nu mot nordväst, mot Tabacón. När utbrottet inleddes omkom närmare åttio personer i ett flertal incidenter då folk kom för nära vulkanen. Den östra sidan av vulkanen är allttjämnt grön (se ovan) och där växer en tät skog. Runt vulkanen finns ett flertal varma källor, vilka utnyttjas i





Kratern på Irazú topp som bildades i och med utbrottet 1963–65

bl.a. turistindustrin. Den mest kända är Tabacón med sina flotta badanläggningar vid basen av vulkanens nordvästra sida. Den nordvästra sidan ligger i högriskzonen, och den 23 augusti år 2000 kom ett pyroklastiskt flöde ned för vulkanens sida mot Tabacón. Numera är det byggnadsförbud i området, vilket leder till att de nuvarande byggnaderna får klara sig men ett minimum av underhåll. Sydost om Arenal ligger Cerro Chato med en 300 meter djup krater, senast verksam för 3500 år sedan. Denna vulkan är nu täckt av en tät skog.

Vulkanen Irazú, 32 km från Cartago, är en mäktig stratovulkan. Den är nu 3432 m hög och har ett omfattande jordbruksområde på sina bördiga sluttningar. Från vulkanens topp sägs det att man kan se de två världshaven. Emellertid är det oftast moln längs den Karibiska kusten vilket gör det svårt att verifiera detta påstående. Den 19 mars 1963 inleddes det senaste utbrottet vilket pågick i två år. Under utbrottet producerades stora mängder aska vilket draperade allt i svart, även en del hus störtade in på grund av askans tyngd. San José blev täckt av ett 13 cm tjockt lager av aska. Utbrottet upphörde 1965 och sedan dess har vulkanen varit sovande. Under det senaste utbrottet miste tjugo människor livet när en lahar kom ned längs Río Reventados flodbädd, vilken passerar rätt

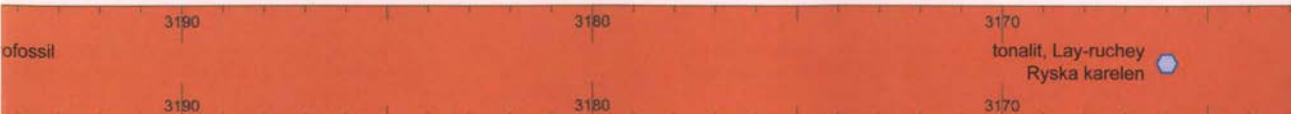
igenom staden Cartago. På vulkanens topp finns ett flertal kratrar från olika utbrott, den senaste är idag delvis fylld med grönskimrande vatten (se fotot ovan).

Som avslutning bör man nämna en av Costa Ricas mer aktiva vulkaner, Poás. Denna vegetationsklädda stratovulkan har nu en toppkrater vilken aktivt bubblar och har små explosioner, men denna vulkan besökte jag inte på denna resa, ty man bör spara något till nästa gång...

Referenser

- Castillo-Muñoz, R., 1983: Geology, In D.H. Janzen (ed.): *Costa Rican natural History*, 47-62. The University of Chicago Press, Chicago, London.
- Kolarsky, R.A., Mann, P., & Montero, W., 1995: Island arc response to shallow subduction of the Cocos Ridge, Costa Rica. In P. Mann (ed.): *Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in Southern Central America. Geological Society of America Special Paper 295*, 235–262.

Erik Sturkell är doktor och forskare vid Nordiskt vulkanologiskt center, Islands universitet; sturkell@hi.is



Svenska mineral (9)

Babingtonit

Sveriges berggrund uppvisar en stor rikedom i mineral och mineralförekomster. Sedan 2000 har författaren beskrivit några av de mer spektakulära mineralfynden. Med denna artikel, nummer nio i serien, har turen kommit till det ovanliga järnkalciumsilikatet babingtonit.

AV PER NYSTEN

Upptäckthistoria

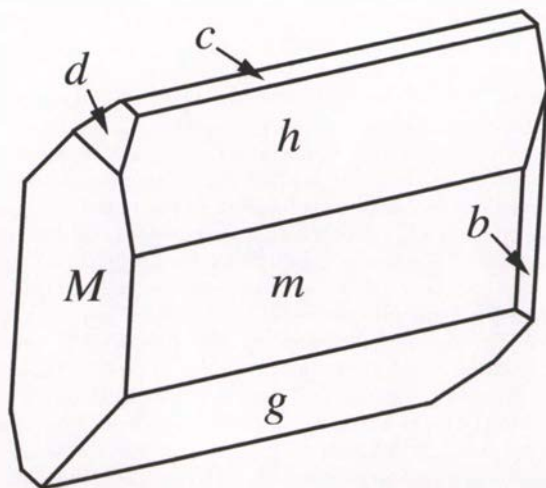
Gustaf Flink beskriver 1914 praktfulla apofyllitstuffer som levererades till Naturhistoriska Riksmuseet under föregående års sommar. Fyndet gjordes på 250 meters nivå i Sjögruvan vid Dannemora i Uppland. På några av dessa stuffer finns små svarta glänsande pyroxenlika babingtoniter. Flink anger vidare att man tydligt kan se i vilken ordning mineralen bildats. Äldst är kornig magnetit i skarn varpå följer tunna krustor av babingtonit vilka överlagras av vit kalcit. På kalciten finns klara apofyllitkristaller med hög glans i öppna hålrum; som yngsta bildning hittas slutligen små kopparkiskristaller ovanpå apofylliten. Babingtonitkristallerna är ofta komplext sammanvuxna varvid det är omöjligt att mäta ytor och vinklar för att bestämma kristallmorfologin. Dock lyckades Flink, med svårighet, mäta mindre, mer enhetligt bildade kristaller (fig. 1). Mineralen tillhör det triklin kristallsystemet och liknar till form och klyvbarhet manganmineralet rodonit. Det finns huvudsakligen två typer av kristaller från Dannemora dels som sneda plattor dels som sneda stänglar. På kristallytan märkt "b" i fig. 1 kan man se lodräta streck då mineralet undersöks i mikroskop, något som hjälper till att skilja babingtonit från snarlik pyroxen. Flink ger även en beskrivning av babingtonitens optiska egenskaper (ljusbrytning och färgvariation i tunna snitt).

Kristallstrukturen

Babingtonit är ett kedjesilikat med triklin symmetri där kedjorna består av kiselsyretetraedrar $[\text{SiO}_4]$ vilka

binds samman av järnsyreoktaedrar $[\text{FeO}_6]$. Järnet föreligger som Fe^{2+} och Fe^{3+} och man anser att elektroner kan "hoppa" mellan det tvåvärda och trevärda läget med en hög frekvens. Detta fenomen får ljuset att absorberas så att mineralet ter sig svart. Samma process förklarar även varför hornblände och magnetit är svarta.

Kalciumatomerna som är störst, finns i de stora hålrum som finns mellan kedjorna och järnsyreoktaedrar. I dessa oktaedrar kan mangan ersätta järn och även mineralet manganbabingtonit återfinns i naturen.





Babingtonitkristaller från Grönsjöberg, Borlänge. Stuffen är 8 centimeter bred Foto Erik Jonsson, samling Andreas Forsberg.

Babingtonit i Sverige

Dannemora

Efter originalfyndet 1913 har mineralet mig veterligen inte återfunnits varken på varphögar eller i gruvan.

Utö

Mineralet hittades första gången 1997 av Erik Jonsson och har senare observerats av Lars Gustafsson i varp-material vid Långgruvan samt nedanför gruvkontoret. Totalt har ca 25 stuffer hittats. Enligt Lars finner man babingtonit i kalcit och apofyllitfyllda gångar som övertvårar skarn och järnmalm. Bredden på gångarna varierar mellan några millimeter i skarnet och upp till flera centimeter i malmen. Babingtoniten åtföljs även av datolit, epidot, zinkblände, fältspat, skapolit(?) och ett gulfluorescerande obestämt mineral. Relativt vanligt förekommande är dessutom ett bronsfärgat glimmerlikt mineral (stilpnomelan?). Babingtonitkristallernas storlek varierar från 1–10 millimeter. I materialet från skarnet finns ställvis en ljusbrun påväxt på bab-

ingtoniten. Själva skarnet består till största delen av gröna mineral (pyroxen, hornblände, epidot) samt rosa fältspat. De största babingtonitkristallerna finns i drusrum i gångar som övertvårar den bandade magnetitmalmen och de åtföljs här av datolit och apofyllit. Dessa gångar kan ha brecciaartat utseende till skillnad från de babingtonitförande skarngångarna som är raka och fyllda av enbart kalcit. I de delar av varpen där babingtonit hittats påträffas även andra gångfyllnader innehållande baryt, axinit, sulfider, kvarts, scheelit, apofyllit och fältspat.

Babingtoniten har verifierats med röntgendiffraktion och elektronmikroskopi. Enligt Johan Söderhielm innehåller mineralet nära 5 wt% mangan.

Vigelsbo

Varpen vid denna gruva är rik på vackra skarnmineral. Här finns epidot, andraditgranat, augit/hedenbergit, och aktinolit alla som flera centimeter stora kristaller tillsammans med rosa kalcit. Vidare har jag funnit pyritkuber, magnetitoktaedrar, scheelit i rudimentära



Babingtonitkristaller tillsammans med bl.a. kvarts-kristaller. Största babingtonitkristallen är 8 millimeter. Grönsjöberg, Borlänge. Foto Erik Jonsson, samling Andreas Forsberg.

kristaller, välformade små titanit-plattor, bladig och kristalliserad apofyllit samt filtmassor av palygorskit (bergläder). I anslutning till kvartsfyllda sprickor och ådror finns lokalt rikligt med 1–2 millimeter stora kristallaggregat av korpsvarta höglänsande babingtoniter. Centralt i sprickorna har kalcit bildats och om denna avlägsnas får man kontrastrika stuffer med svart på vitt. Babingtonit hittas dessutom i anslutning till den skarniga magnetitmalmen.

Barkö

De bästa fynden av babingtonit har gjorts av Göte Brunnberg i Jakob Edbergs gruva som mest är känd för sitt innehåll av vackra epidoter och bleka titaniter. Minalet bildar grupper av blanka svarta kristaller inväxta i kalcit. Om kalciten avlägsnas syns 1–3 millimeter stora välformade babingtoniter som bekläder väggar i hålrum. Associerat förekommer små glasklara komplexa datoliter, ett vackert bormineral som hittats bl a på Utö och Mörkhult i Värmland. I övrigt finns rikligt med pyritkristaller, grönsvarta epidotkristaller, små hematitgrupper på babingtoniten samt granat, augit, kvarts och magnetit i otydliga kristaller. Grundmassan består av magnetit blandat med pyroxen, granat och epidot.

Grönsjöberg

Några km norr om vägen mellan Borlänge och Ornäs i Dalarna finner vi Grönsjöbergets stråk med kristallin kalksten och metavulkanit inneslutet i en yngre granit. I detta stråk har ett flertal små närbelägna stenbrott upptagits för brytning av kalkstenen. Denna är delvis skarnig, finns att beskåda i väggarna till brottet, och innehåller förutom flera centimeter stora, ljus bruna grossulargranater även diopsid, vesuvian, tremolit, wollastonit, kvarts och kalcit. I en kalcitläkt brecciezoon

fanns Sveriges största och bästa babingtoniter tillsammans med gräsgrön epidot och små bergkristaller. Idag återfinns dessa både hos amatörsamlare och på svenska museer. Enligt SGU's karta är graniten ca 1800 miljoner år gammal och de hydrotermala lösningar som bildat babingtoniten kan antas vara samtida med granitens inträngande eller yngre. De ytterst delikata strukturer (öppna hålrum med kristallgrupper växande på varandra) som mineralbreccian här uppvisar säger oss att någon kraftig uppvärmning och metamorfos inte kan ha drabbat den efter dess tillblivelse.

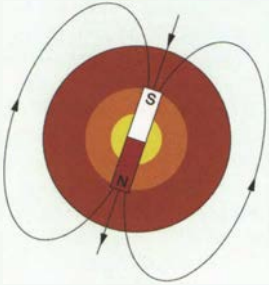
Sammanfattning: babingtonit är ett sekundärt bildat mineral i skarnmiljö. Det är alltid väl kristalliserat och åtföljs av mineral som indikerar bildning från hydrotermala lösningar. Dessa lösningar innehöll bl a fluor och bor då mineralen apofyllit och datolit är vanligt förekommande. Man kan lätt ta miste på babingtonit och mörka pyroxener vilka båda bildar glasglänsande hårda komplexa kristaller. Dock hjälper paragenes och uppträdande till vid identifieringen. Vacker babingtonit finns även att finna i järnmalmer vid Arendaltrakten i Norge och jag tror nog att vi kommer att upptäcka mineralet på fler platser i den järnmalmsrika Bergslagen i Sverige.

Litteratur

- Araki, T. & Zoltai, T., 1971: Crystal structure of babingtonite. *Zeitschrift für Kristallographie* 135, 355–373.
Flink, G., 1914: Bidrag till Sveriges mineralogi No 86 Babingtonit. *Arkiv för kemi, mineralogi och geologi* 5, 233–237.

Per Nysten är universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet samt intendent vid Evolutionsmuseet, Uppsala; per.nysten@geo.uu.se

Magnetism och tid



Vi människor kan inte uppfatta vare sig nanosekunder eller miljarder år med våra sinnen. Den mänskliga tidsuppfattningen är inte heller jämförbar med tidsskalan för förändringar i magnetiska mineral. Magnetismen i mineral kan nämligen vara stabil under tidsperioder som spänner från just nanosekunder till miljarder år. Vi geologer känner väl till paleomagnetismens betydelse för platttektoniken, men vet vi överhuvudtaget vad magnetism är, och vet vi alls varför magnetismen i något material kan bli gammal? De frågorna skall vi ta en närmare titt på i den här artikeln, och som vi skall se, har inte svaren bara med vanlig geologi att göra. Det blir lite fysik också.

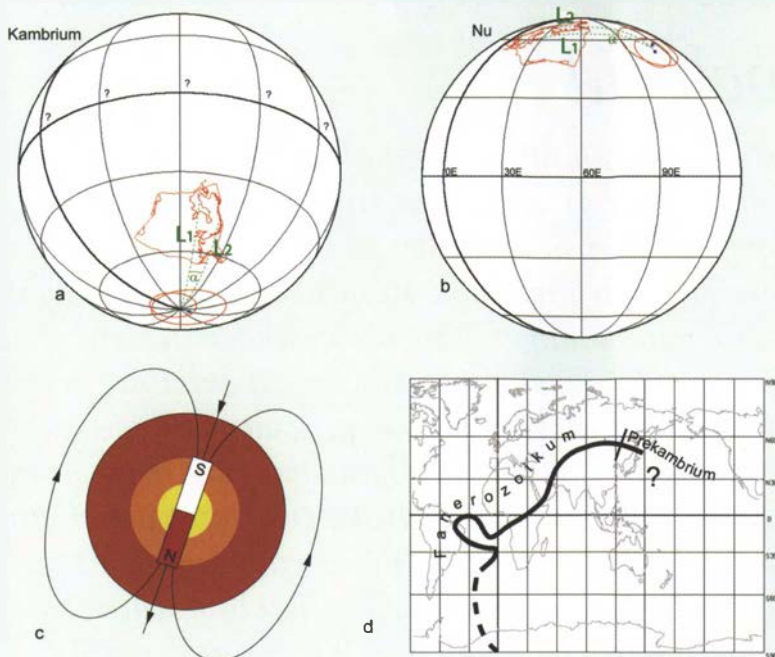
AV ERIK ENEROTH

Varför måste vi förstå samband mellan magnetism och tid?

En av grundvalarna för kontinentaldriftshypotesen är studiet av bergarters magnetiska egenskaper, dvs paleomagnetismen. Paleomagnetismen slog igenom i mitten av 1900-talet då man insåg att bergarter innehåller ett magnetiskt minne i form av en magnetisk vektorkomponent. Denna kallas *Natural Remanent Magnetisation* eller NRM. Med riktningen hos NRM kan man räkna ut vid vilken latitud en kontinent befann sig då den undersökta bergarten bildades, samt undersöka om kontinenten var roterad relativt nu. Med hjälp av annan helt oberoende information som t ex olika fossila faunor, kan man sedan spekulera kring hur kontinenterna rört sig i öst–västlig riktning. Den informationen kan man inte få från paleomagnetiska data. Paleomagnetiska data (dvs NRM-riktningarna) diskuteras i vetenskapliga publikationer efter att de räknats om till sk paleopoler (se figuren på nästa sida). Det innebär att man bestämmer de geometriska relationerna mellan provtagningsplatsen "dåvarande" läge, och den "dåvarande" magnetiska sydpolen. Sedan omsätts den geometriska relationen till provtagningsplatsens nuvarande läge på jordytan. Detta beräknas under antagandet att jordens magnetfält alltid har haft formen av en sk dipol. Själva dipolen tänker man sig som en stavmagnet i jordens centrum, och dess fältlinjer strålade ut genom jordytan och magnetiserade

bergarterna i bildningsögonblicket. Paleopoler från samma kontinent, och av samma ålder, skall därför helst plottas på samma punkt, eftersom att det bara finns en sydpol på jorden (vilken i och för sig är en magnetisk nordpol). Man plottar alltså alla paleopolorna på jordytan som funktion av tiden, och om man får en fin och sammanhängande kurva antar man att de provtagna bergarterna har färdats på jordytan inom en solid platta utan inbördes stora rörelser. På det här viset har man kunna kartlägga vår egen kontinents, Balticas, rörelser ända tillbaks till ordovicium (för ca 490 miljoner år sedan). Paleomagnetiska data från kambriska och prekambrika bergarter verkar dock ofta motsägelserfulla och osäkra. NRM påverkas nämligen ofta efter det att en bergarthar bildats genom sk remagnetisering. Detta kan ske på olika sätt, t ex genom rent materiella omvandlingar (metamorfos, metasomatos, utdragen diagenes etc.), alltså värmerätt och slätt, eller genom tryck och deformation.

Den andra orsaken till att vi måste förstå magnetism hos mineral och bergarter är att de är viktiga för flyggeofysiska mätningar då man utforskar jordskorpan sammansättning. Magnetiska anomalier är ofta inte större än <5 % av den totala fältstyrkan, den senare är omkring 50 μT i Sverige. Det mesta av magnetismen som mäts kommer från den stora dipolen från den yttre



Förklaring av paleopolbegreppet genom ett exempel från en rekonstruktion för kambrium. Visar Balticasamt relationerna mellan två provtagningsplatser och sydpolen, först i det kambriska läget (a) och sedan i nutid (b). De tänkta storsirkelavstånden L_1 och L_2 och deras vinklar relativt Baltica har varit konstanta under kontinentaldriften om man inte haft remagnetisering, och vi kan tänka oss en virtuell sydpol (paleopol) i Asien. (c) Visar principiellt hur jordmagnetiska fältets riktning beror av latituden enligt dipolmodellen. Med hjälp av modellen i (c) och NRM riktningen har man beräknat de båda gröna storsirkelarnas vinkelavstånd och riktningar relativt Baltica, och därmed kan man räkna sig tillbaka till den kambriska rekonstruktionen. (d) Visar ungefär hur man tänker sig Balticas polvandringskurva. Det kan tilläggas att det saknas konsensus i litteraturen för kambriska och äldre data.

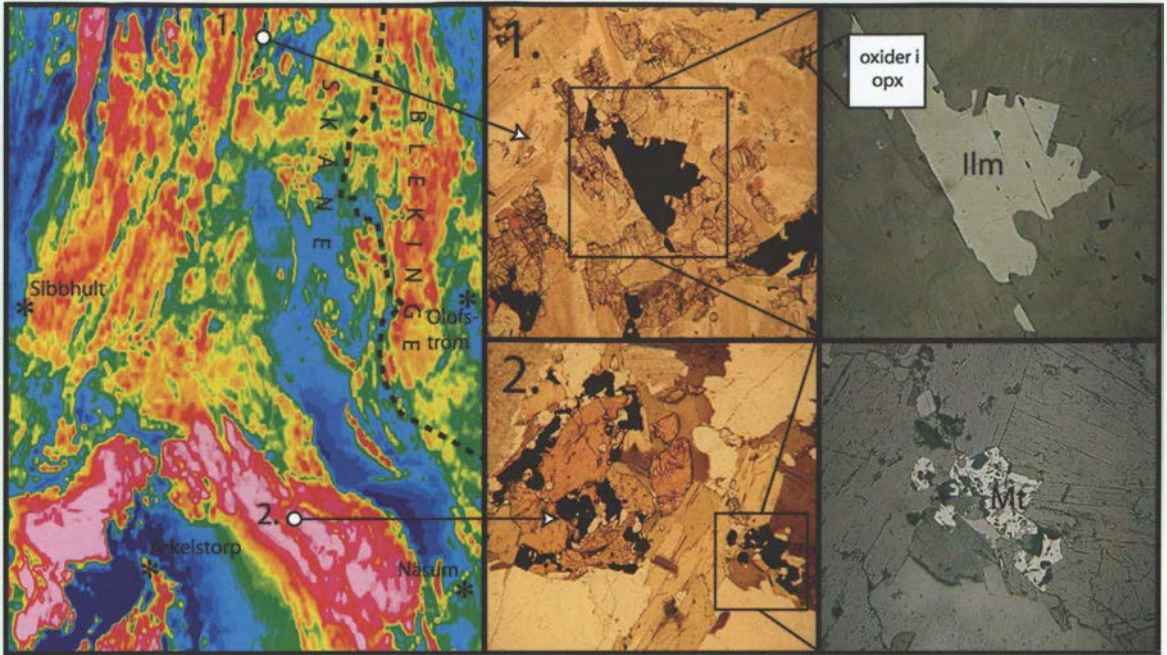
kärnan, men vi ser ändå avvikelser i den totala styrkan som färgvariationer i de flygmagnetiska kartorna. Dessa magnetiska anomalier kan uppkomma på mer än ett sätt. T ex genom att fältlinjerna från jordens yttre kärna (jättedipolen) tränger igenom jordskorpan, så att denna påverkas magnetiskt. Man får då en skinducerad vektorkomponent som adderas parallellt till den totala fältstyrkan (se figuren till höger). Förhållandet mellan den inducerade komponenten och det magnetiserande fältet från jordens kärna bestäms av bergartens susceptibilitet (ung. förmåga att magnetiseras). Den ligger i intervallen 0,003-0,3 för magmatiska, 0-0,05 för sedimentära och 0-0,07 för metamorfa bergarter. Ofta är magnetitens mängd och egenskaper avgörande för susceptibiliteten. Om vi hypotetiskt tog bort dipolen i jordens mitt skulle de inducerade komponenterna bara försvinna. Fast nu är det inte alla anomalier som uppkommer på det här sättet. Vissa bergarter, särskilt de som innehåller magnetitkorn som är mindre än omkring 0,2-1 μm kan ha mindre susceptibilitet men kraftigare NRM. I så fall är det NRM som ger upphov till anomalierna. Förhållandet mellan den inducerade komponenten och NRM kan variera kraftigt. Utan kvoten mellan NRM och den inducerade komponenten (vilken kallas Q eller Königsberg ratio) kan man inte förstå anomalier i det jordmagnetiska fältet. Detta för att riktningen hos NRM ju är helt oberoende av det

nutida jordmagnetiska fältets riktning, till skillnad från inducerade magnetiska komponenter, och de olika komponenterna i jordskorpan adderas ju som vektorer var för sig, och inte som vanliga tal. En god förståelse av NRM är alltså viktig både för plattetektonisk forskning och geofysiska mätningar.

Hur fungerar det magnetiska minnet – NRM?

Introduktion till begreppet NRM

NRM finns i små järnoxid- eller järnsulfidkorn i bergarterna. I varje korn råder energiminimeringsprinciper som kornets magnetisering följer, t ex att magnetiseringen måste peka i kornets längsta riktning (som i submikroskopiska korn av exempelvis magnetit) eller i en viss kristallografisk riktning (i en del magnetkis-, göthit- och hematitkorn). De här mekanismerna är oberoende av riktningen på ett yttre magnetfält (t ex det jordmagnetiska fältet). Ett enda submikroskopiskt magnetitkorn sk singeldomänkorn (SD-korn) kan pga sin form bara spela in två riktningar, bakåt eller framåt i kornets längsriktning (figuren på sidan 20). Så det är faktiskt bara vissa av kornen som har sin magnetisering nära den genomsnittliga riktningen. Vad som händer i

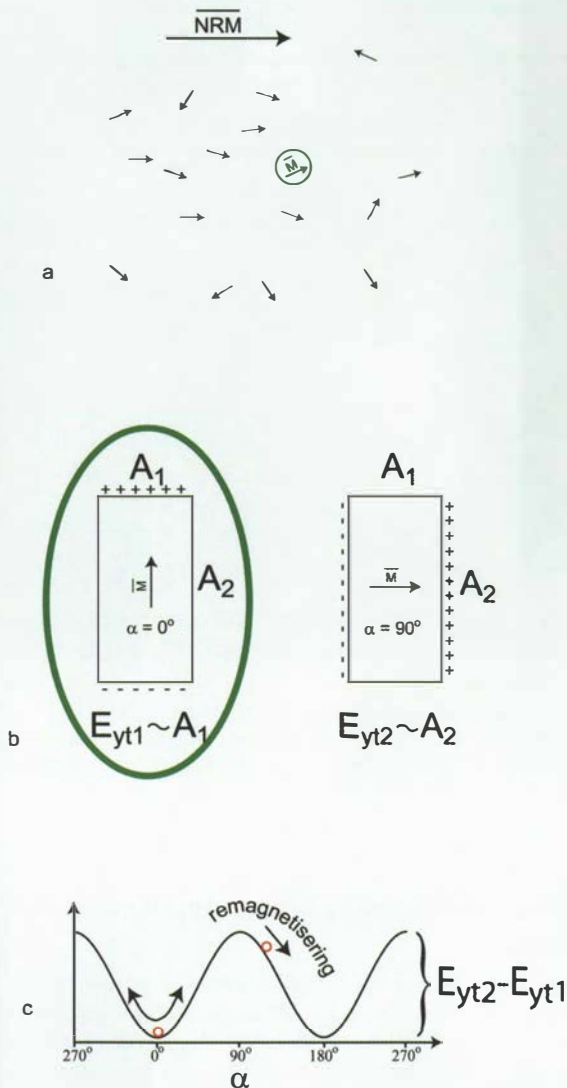


Flygmagnetisk karta över området vid gränsen Skåne–Blekinge. Den lilla anomalin i norr (1) är en negativ anomali från en diabas med kraftig NRM och relativt låg susceptibilitet. Opakmineralen domineras av paramagnetisk ilmenit (Ilm), och NRM är associerad med små oxidkorn i ortopyroxen (opx). Den kraftigt positiva anomalin i söder (2) orsakas av Karlshamnsgranit med hög inducerad magnetisering på grund av större magnetitkristaller. Magnetiten (Mt) har kristalliserat interstitiellt (mellan redan befintliga korn) ihop med biotit. Diabasen och graniten har distinkt olika magnetiska egenskaper beroende på magnetitkornens storlek.

Magnetisk ordning och oordning på atomär skala

magnetiska korn generellt sett beror på minimering av deras magnetiska energier, och här spelar kornens storlek en viktig roll som vi skall se senare. Nu är det dock så att ett "kornenergiminimum" får något lägre energi om dess riktning av en slump råkar peka nära jordens magnetfält. När magnetiseringen bildas kommer alltså statistiskt sett fler korn att välja riktningar som råkar ligga nära det jordmagnetiska fältet. Detsamma händer om det sker en magnetisk förändring i kornet vid ett senare tillfälle, när det jordmagnetiska fältet har en annan riktning relativt bergarten (remagnetisering). Det är tur att kornens egna inre energibarriärer vid rumstemperatur är mycket större än det energibidrag som uppkommer av att jordens magnetfält påverkar kornen. Annars hade bergarterna remagnetiserats kontinuerligt från det att de bildats fram till nu (det finns i och för sig en del sådana bergarter). Vid högre temperaturer minskar dels de inre magnetiska energibarriärerna, och dels ökar den termiska energin i atomernas vibrationer, och kornens magnetiseringar kan därmed omfördelas.

På grund av sin starka spontana magnetisering är magnetit ett av de viktigaste mineralen för jordskorpan magnetiska egenskaper, och för paleomagnetiska studier. Med "spontan magnetisering" menar vi att mineralet producerar magnetiska fältlinjer utan att vi behöver magnetisera det som man gör t ex i en elektromagnet, eller så som det jordmagnetiska fältet producerar inducerade anomalier. Fältlinjer kommer ut ur magnetiten av sig själva på grund av en inre materialegenskap. Det kan vara på sin plats med en lite djupare förklaring av detta. För att ett material skall ha spontan magnetisering måste det finnas atomer med oparade spin i elektronskalen, exempel på sådana joner är Fe^{3+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} (lägg märke till att de är sk övergångselement). I praktiken är det Fe^{2+} och Fe^{3+} som är intressanta för paleomagnetism och geofysik. Dessutom måste elektronorbitaler hos dessa atomer ha god kontakt med varandra i ett kristallgitter. Alternativt kan de ha god kontakt med mellanliggande atomer av syre, som i magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) och göthit ($\alpha\text{-FeOOH}$),



(a) Idealiserad bild av NRM i en bergart. Det finns korn med slumpmässigt fördelade riktningar för energiminima. NRM uppkommer då fler korn har sin magnetisering nära NRM. (b) Detaljbild som visar ett av kornen i (a) samt varför det blir olika mängd magnetiska ytladdningar om magnetiseringen pekar åt olika håll. Ytladdningarna skapar det energiminimum som läser magnetiseringen längs kornets avlångs axel. (c) Grov energibaserad bild av remagnetisering. Bollen symboliserar magnetiseringsriktningen, och vinkeln α vinkeln från ett energiminimum.

eller med mellanliggande atomer av svavel, som i magnetkis ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$) och greigit (Fe_3S_4). Då uppstår ett kollektivt kvantmekaniskt fenomen i orbitalerna som gör att spinnen vill ställa in sig parallellt eller antiparal-

lellt med varandra. Inuti magnetit finns t ex järnatomer vars spin pekar i samma riktning och antiparallellt med varandra (se figuren till höger). Vi säger att kornet är ferrimagnetiskt. Om man värmer mineralet över dess sk Curietemperatur (585°C för magnetit) förstörs parallellriktningen. I ett ferrimagnetiskt material arrangerar sig spinnen i två antiparallela sk subgitter (här direktöversatt från engelskans *sublattice*). Då järnatomerna i magnetitens subgitter har olika laddning och därmed olika antal oparade elektroner, samt dessutom olika antal så får de olika subgittern olika magnetiskt moment totalt sett. Skillnaden mellan dem gör att man får ett kraftigt bidrag per formelenhet till den resulterande magnetiseringen. I andra ferri-magnetiska mineral, som t ex maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dvs hematitens kubiska polymorf) och monoklina typer av magnetkis (Fe_9S_{10} och Fe_7S_8), beror skillnaden mellan de båda subgittern istället på att ett av subgittern saknar vissa atomer och bildar vakanser som är regelbundet fördelade i kristallen. De mineralen har också stark nettomagnetisering fast inte som magnetit. I sk antiferromagnetiska material däremot, har atomerna i de motriktade subgittern både samma egenskaper och samma antal, så man borde inte få någon magnetism alls. Fast om de inte är perfekt antiparallela så får man istället en svag komponent vinkelrätt mot subgittern. Så fungerar den svaga magnetiseringen i hematit. Göthit är också antiferromagnetiskt, men har istället ett litet nettomoment pga av okompenserade spin vid defekter och korngränser. I paramagnetiska mineral, som pyroxen, amfibol och biotit (och ilmeniten i figuren på föregående sida), fluktuerar spinnens riktningar slumpmässigt, så de kan aldrig bidra till NRM. De kvantmekaniska orbitalväxelverkningarna kan inte parallellställa spinnen. I diamagnetiska mineral, som t ex kvarts, fältspat och kalcit finns överhuvudtaget inga atomer med så starkt magnetiskt moment som Fe^{2+} eller Fe^{3+} , så de har extremt svaga magnetiska egenskaper.

Multidomänkornens egenskaper med magnetit som exempel

Alla magnetfält (vari även inkluderas de med ursprung i magnetit både inuti och utanför kornen) innehåller en energi per volym given av uttrycket $\mu_0 |B|^2/2$ (i J/m^3). Tätheten mellan fältlinjer dvs $|B|$ är mycket stor i magnetit, och alltså innehåller magnetiseringen också en del energi. Detta är mycket viktigt. I ett magnetitkorn finns det flera sorters magnetiska energibidrag som vill minimeras. Kornets magnetiska tillstånd beror på ett samspel mellan dessa olika energier, och det kan inta olika tillfälliga, mer eller mindre stabila

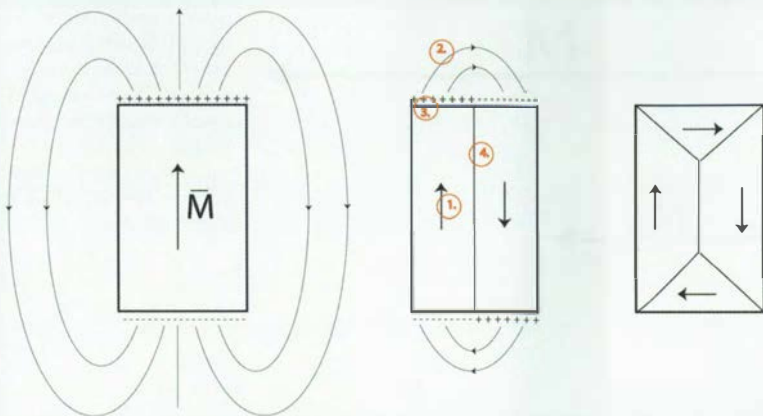


Så här uppkommer det magnetiska nettomomentet i några vanliga magnetiska mineral. Den resulterande spontana magnetiseringen påverkas om olika spin i magnetiska subgitter kompenserar varandras bidrag eller inte.

energiminima. Om kornet är stort ($>ca\ 0,2-1\ \mu m$) bildas det sk domäner. En domän är en liten volym i en magnetiskpartikel där magnetiseringen är uniform, fast olika domäner i samma partikel har olika magnetiska riktningar (se figuren på nästa sida). Domänernas magnetiseringar i magnetit tenderar att bli parallella med (111) samt därmed ekvivalenta riktningar. Dessa svarar nämligen mot ett sk "magnetokristallint" minimum av magnetisk energi. Alla magnetiska mineral har magnetokristallin anisotropi, vilket innebär att den energin är olika om magnetiseringen pekar i olika kristallografiska riktningar. Om det bildas domäner kan de utgående fältlinjerna från två närliggande domäner ta ut varandra, och den totala magnetiska energin minskar (varje fältlinje innehåller energi). I gengäld ökar dock kornets magnetiska energi i gränssnittet (de sk Blochväggarna och Néelväggarna) mellan de två domänerna. Det krävs nämligen en viss energi per atom för att vrida spinnen i förhållande till grannatomernas riktning inne i Blochväggarna. I Blochväggarna finns vridna spinkonstellationer. Den energi som lagras i en domänvägg är helt enkelt proportionell mot dess area, så kornet vill minimera arean av väggarna. Om ett korn skall innehålla en eller flera domäner är en komplicerad tävling mellan de olika energibidragen. Generellt gäller att små korn saknar domänväggar (singeldomän eller SD-korn), och de större kan ha två eller flera domäner (multidomän eller MD-korn). Övergångsformer kallas *Pseudo Single Domains* (PSD). Kornet vill också minimera de fältlinjer som strålar ut

genom dess ytor. Ett sätt att minimera magnetisk energi är genom att det bildas sk "closure domains" längs med kornets sidor.

Ett yttre fält kan förflytta domänväggarna från ett energiminimum som beror på dessa processer. Domänväggarna flyttar sig då så att de domäner vars magnetisering ligger nära det yttre fältet ökar i volym. Om det yttre magnetfältet försvann så skulle domänerna fjädra tillbaka till det gamla energiminimumet, om inte väggarna hittar ett litet energiminimum på väg tillbaka. Se t ex på Karlshamnsgranitens kraftigt positiva anomali i figuren på sidan 19. Vissa graniter kan innehålla många rena och stora MD-magnetitkorn, helt utan lameller av ilmenit och ulvöspinell, vilka hade kunnat verka som defekter eller minska den effektiva kornstorleken. Graniter av den här typen har dels låga totalhalter av titan, och dels kan det lilla titan som finns smita in i biotitkorn istället. Magnetit som bildats genom avblandning från fasta lösningar ger inte så här kraftig inducerad magnetism. I naturlig magnetit är det dock inte så enkelt att allt bara handlar om energin från bulkmagnetisering, ytor och domänväggar. I magnetitens gitter finns ofta kristalldefekter där domänväggarna fastnar. Domänväggarna kan bildas och röra på sig vid temperaturer långt nedanför curietemperaturen. Om de bildas eller rörsig vid närvaro av det jordmagnetiska fältet tenderar de att fastna på ett sådant sätt i defekterna att kornets nettomagnetisering hamnar nära det jordmagnetiska fältet. Man får då en NRM som domineras av MD-magnetit. Om defekterna ändras, eller



Så här kan en magnetisk kropp påverka sin energi genom att bilda domäner. Siffrorna symboliserar energier som strävar efter att minimeras. Energi finns i (1) magnetiseringen i materialet, (2) fältlinjer utanför, (3) genom magnetiska ytlaaddningar (4) i domänväggar där spinnen är vridna i förhållande till grannatomerna. I högra bilden finns sk closure domains så att fältlinjerna inte skär kornets ytor. I gengäld har den totala domänväggarean ökat. I de två högra figurerna fås ingen nettomagnetisering, men det kan det bli om någon av domänerna växer på andras bekostnad. Om det finns ett yttre fält närvarande (som det jordmagnetiska fältet) uppkommer extra energi på grund av det. Domäner vars riktning är nära det fältet skulle då ha lägst energi.

om domänväggarna rör sig så ändras NRM-riktningen, och MD-magnetit har svag, instabil NRM. MD-kornen ger inte så värst mycket NRM-intensitet för en given volym magnetit, då domänerna motverkar varandras bidrag inuti kornen, till skillnad från i SD-kornet där alla spin pekar åt samma håll. Man kan alltså inte utgå enbart från kvantitativa mikroskopobservationer då man förutsäger magnetiska egenskaper hos bergarter. Det viktigaste att komma ihåg från detta avsnitt är dock att MD-korn remagnetiseras genom att domänväggar flyttas i sidled så att volymförhållandena mellan

olika domäner ändras. Magnetiseringen behöver aldrig vridas relativt kornets gitter vilket måste ske om man vill remagnetisera ett SD-korn (se nedan).

Singeldomänkorn

De små SD-kornen är inte lika komplicerade. Framförallt är det enklare att förstå sambanden mellan magnetism, tid och temperatur för sådana korn. Därför kan vi här gå in mer i detalj på tidens roll för SD-kornen. I ett SD-korn av magnetit pekar magnetiseringen åt

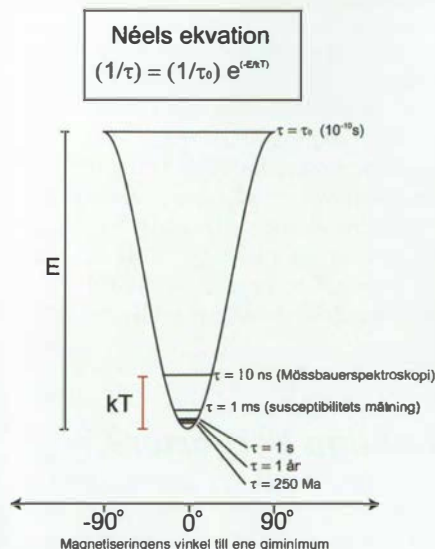
Faktaruta

Hur varmt är det när det är varmt ute – och vad är egentligen värme?

Boltzmanns konstant (k) säger en hel del om värme som fenomen. Den har värdet $1,381 \times 10^{-23}$ J/K, och är uppkallad efter Ludwig Boltzmann. Boltzmann förklarade olika naturfenomen inom den statistiska fysiken utifrån existensen av atomer och molekyler. Värdet på k får man om man dividerar allmänna gaskonstanten R med Avogadros tal N_A , dvs antalet atomer i en mol. Boltzmanns konstant sammankopplar alltså storleksordningarna i mikrokosmos med den makroskopiska världen. Multiplikerar man k med den absoluta temperaturen T får man energin för atomernas värmevibrationer inuti ett fast ämne uttryckt i joule – en makroskopisk enhet. En joule är ju ungefär vad som åtgår att lyfta en 100 g vikt en meter (en vikt på 1000/9,82 gram närmare bestämt). Man kan säga att k definierar ett slags energiskala i mikrokosmos som är lätt att relatera till temperaturen. Den fundamentala

betydelsen av k illustreras bland annat av att den tyske fysikern Max Planck föreslog ett helt vansinnigt enhetssystem där man istället för att använda grader Kelvin definierar en ny temperaturskala så att k automatiskt blir 1. Vanlig rumstemperatur skulle då vara lika med $(273,15+20)/(1,381 \times 10^{-23}) = 2,12 \times 10^{25}$ där detta tal anges i ett slags universell grundenhet. Fast det är väldigt opraktiskt att göra om alla termometrar till tal som ligger kring $2,12 \times 10^{25}$. Så vi får stå ut med att totala den totala energin för atomära vibrationer i de tre riktningarna x , y och z , i ett fast ämne vilket som helst, är lika med kT istället för bara T . Nu vet vi alltså vad värme är (vi har i alla fall fått ett begrepp om dess relation till energi även om vi inte har berört den egentliga definitionen av temperatur och dess relation till termodynamikens huvudsatser).

Ett stort och fint magnetiskt energiminimum får symbolisera Néels SD-modell. De horisontella nivåerna visar termisk energi per atom i materialet, och motsvarande relaxationstider är markerade. τ är relaxationstiden och τ_0 en materialkonstant som är cirka 10^{-10} s.



samma håll i hela kornet, nämligen längs med kornets mest avlånga axel. Det beror på att magnetit har så stor magnetisering att det blir magnetiska ytladdningar på kornets sidor när magnetiseringen skär korngränsen. Ytladdningarna i sin tur är associerade med magnetisk energi. Minst ytladdningar blir det om kornets magnetisering korsar en minimerad yta, dvs om magnetiseringen vrids in parallellt med kornets längsta axel. På det viset kan kornet minska sin energi. Du förstår varför magnetitkorn får stor ytladdning om du tittar tillbaka på figuren på sidan 20. Den magnetokristallina anisotropin som vill tvinga in magnetiseringen parallellt med (111) har alltså underordnad betydelse i SD-korn. I ett hypotetiskt sfäriskt SD-korn skulle magnetiseringen dock vridas in parallellt med (111). SD-kornens beteende kan vara viktiga nycklar till hur stabila paleopoler uppträder. För att förstå de grundläggande principerna behöver man dock viss kunskap om värme och magnetism. Faktarutan till vänster är en kort exposé kring värme som fenomen. Nu närmar vi oss kärnpunkten för denna artikel, dvs det fysikaliska sambandet mellan magnetism och tid.

Singeldomänkornens tidsberoende

Fransmannen Louis Néel forskade mycket kring magnetism, och han visade bl a hur och varför spinnen i vissa material ordnar sig parallellt under en viss temperatur (i ferri-, ferro-, och antiferromagnetiska material), samt hur SD-magnetiseringar fungerar. Néel fick nobelpris i fysik 1970, dock för sin forskning om antiferromagnetism, och inte för SD-modellen. Enligt

Néels SD-modell är magnetiseringen beroende av tid och temperatur en tävling mellan produkten kT (den atomära värmeenergin) och ett energiminimum i kornet. Du finner produkten kT i nämnaren hos den exponent som förekommer i ekvationen i figuren ovan. De parallella spinnen (dvs magnetiseringen som helhet) vibrerar slumpmässigt kring kornets magnetiska energiminimum (exempelvis den avlånga axeln i ett magnetitkorn), och enligt Néel kan man räkna ut hur ofta magnetiseringen byter riktning och flippar runt 180° . Resultatet blev den välkända "Néels ekvation". Néels ekvation är matematiskt och fysikaliskt närbesläktad med Boltzmannfaktorn. I ett statistiskt fysikaliskt system är det den som styr sannolikheten för att ett objekt skall inta en viss energi vid en given temperatur. Därmed påverkar den också sannolikheten att ett objekt skall byta energiminimum. Många processer och förändringar i naturen är associerade med ett slags aktiveringsenergi i vid bemärkelse, och därför är detta viktigt. Boltzmannfaktorn spelar stor roll för vår förståelse av sådana temperaturberoende förändringar – dvs hur sannolika de är och hur fort de sker vid en viss temperatur. Néel använde alltså Boltzmannfaktorn för att räkna ut sannolikheten per tidsenhet för magnetiska riktningförändringar i SD-korn. Den tid som ett korn tillbringat i ett energiminimum kallas relaxationstiden, och beror på energiminimats djup vilket i sin tur bestäms av kornets form och volym. Riktigt små korn (15 nm t ex) har en relaxationstid på mindre än 10 ns, men det behövs inte mycket större korn för att de uträknade värdena skall överstiga universums ålder (se figuren ovan). Notera att figuren delvis är hypotetisk för de minsta kornen, eftersom att så små magnetitkorn är

sällsynta (maghemit och järnhydroxider har lättare att bilda så små kristaller). Vid en storlek runt 30 nm ändras dock relaxationstiden som funktion av kornstorlek med närmast ofattbara tidsbelopp. Det beror på att Néels ekvation är ett exponentialuttryck. Ett större korn måste ha fler magnetiska ytladdningar som bidrar till energiminimum, och då ökar E. Korn vars relaxationstid är mindre än 100 s (jfr mänskliga handlingar) kallas superparamagnetiska (SP), och de med längre relaxationstider kallas singeldomänkorn (SD). Relaxationstiden är också starkt beroende av temperaturen.

Vad händer i riktiga bergarter?

Mycket av det som diskuterats ovan är i och för sig idealiserade principer, men de utgör den fysikaliska förutsättningen för hela paleomagnetismen. Naturliga korn är ju inte perfekta kuber, rektanglar, ellipser eller sfärer, och de kanske sitter hopklumpade och påverkar varandra etc. Ett helt renodlat Néels ekvationberoende kan dock återfinnas i sedimentärt bildad magnetit i vissa kalkstenar samt hos ultrafina oxider i en del vulkaniska bergarter. Oxidkornen kan omvandlas tex

genom fluiders inverkan utan stora yttre tecken vilket kan leda till oönskade förändringar av paleopolerna (sk CRM eller *Chemical Remanent Magnetisations*), och ofta har man flera kornpopulationer med olika egenskaper, och därigenom stora åldersskillnader mellan dåligt upplösta magnetiska komponenter. Ett visst genombrott i förståelsen av bergarters magnetiska egenskaper nåddes då man började observera mineral i elektronmikroskop, och kunde studera submikroskopiska inneslutningar av oxider i silikatmineral som pyroxen och plagioklas. Andra fann att avblandade texturer som innehåller magnetit och dess mer titanrika släktingar ulvöspinell och ilmenit kan ha små tätt sittande korn, och argumenterade istället för dessa som källan till stabila NRM komponenter. Idag vet man att båda fenomenen kan påverka såväl paleopoler som flyggeofysiskt uppmätta anomalier. Se tex på diabasen i figuren på sidan 19 som ju faktiskt ger en negativ anomali. Det beror på att den har låg susceptibilitet i förhållande till styrkan på NRM (høgt Q värde eller Königsberg ratio). NRM råkar dessutom ligga nästan antiparallellt med det jordmagnetiska fältet som därmed motverkas. Skillnaden mellan den och Karlshamnsgnraniten är att magnetitkornen är mycket mindre i diabasen.

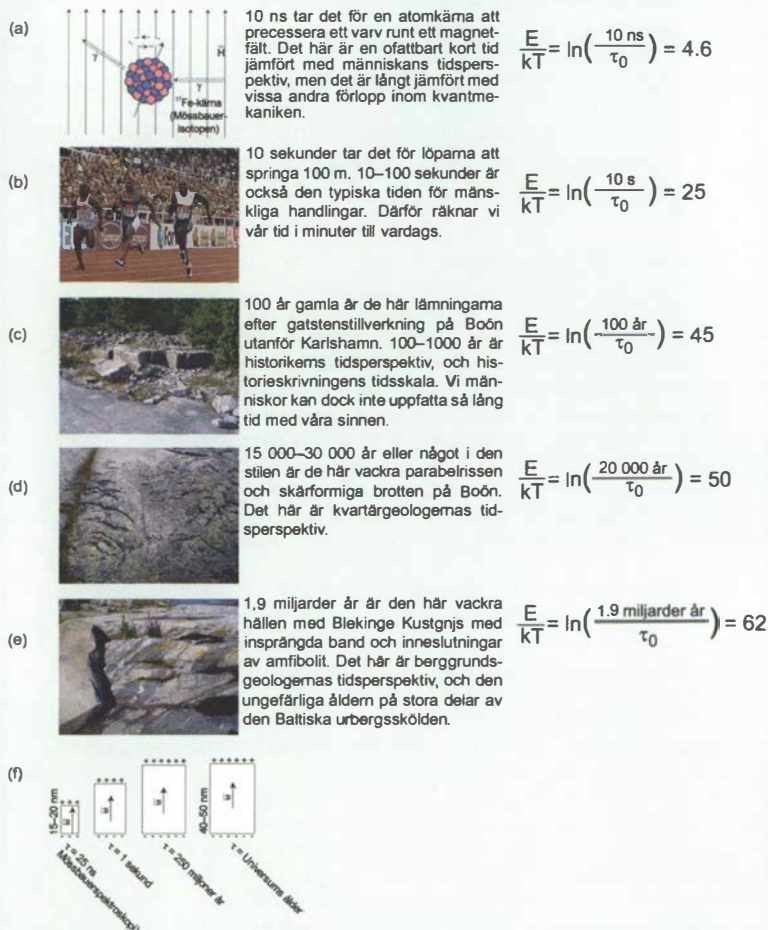
Faktaruta

Rekordunga "paleopoler" vid Mössbauerspektroskopi

De kortaste relaxationstiderna studerar man med Mössbauerspektroskopi, och de längsta med paleomagnetism. Mössbauerspektroskopi är ju ett helt annat forskningsområde än paleomagnetism, men när man studerar nanopartiklar av järnoxider och järnhydroxider med Mössbauerspektroskopi, är det precis samma ekvation som styr magnetismen som när SD-korn remagnetiseras vid paleomagnetism (se föregående sida). Genom att studera den Mössbaueraktiva isotopen ^{57}Fe observerar man magnetiska fluktuationer inom tidsskalan 10 ns. Den typiska tidsskalan för Mössbauerspektroskopi definieras av livslängden hos exciterade tillstånd i en atomkärna, eller den tid det tar för en exciterad ^{57}Fe kärna att precessera runt magnetfältet från omgivande elektronmoln. Om magnetiseringen i kärnans omgivning fluktuerar snabbare än ^{57}Fe -kärnans precessionstid, upplever atomkärnan ett tidsmedelvärde som är noll. Man kan jämföra det med en TV-bild eller film på bio där bilderna uppdateras snabbare än vår egen visuella tidsuppfattning. Eftersom magnetiseringen är en vektoriell storhet som tillbringar lika lång tid i olika energiminima (olika riktningar) så blir resultatet detsamma som om den verkligheten var noll. Om Mössbauerkärnan upplever ett

magnetfält som är noll har den två kvantmekaniska absorptionslinjer, och om den känner av ett magnetfält blir det sex linjer i spektrumet. Så vi kan uppskatta den magnetiska relaxationstiden med Mössbauerspektroskopi. Néels SD-modell är nu accepterad inom alla berörda forskningsdiscipliner, både fysik och mineralogi. Mössbauerundersökningar utförda vid rumstemperatur och under kryogena förhållanden är bland de elegantaste bevisen vi har för Néels SD-modell. För superparamagnetiska korn med lite längre relaxationstider (0,1 ms till 10 s) kan man använda magnetometrar med variabla frekvenser och kryogena mättemperaturer för att studera kornen. De kornen hade gett sextetter vid Mössbauerspektroskopi. Det är väldigt frapperande att något som är så kort som 10 ns beskrivs av samma principer som styr magnetiseringen i prekambrika bergarter, och att kornegenskaperna och de magnetiska processerna kan skilja sig så lite i de båda fallen. Som geolog bör man kanske vara lite ödmjuk inför vissa "rent magnetiska principer", och inte bara utgå från traditionellt geologiska observationer när man funderar över paleomagnetism och geofysik.

Fig. 7. (a) – (e) En jämförelse mellan E/kT och relaxationstider i SD-korn. Här har jag lagt in konkreta företeelser av olika ålder för att illustrera tidsberoendet. Ju djupare energiminimum desto längre tid är magnetiseringen stabil. Det är kvoten E/kT som avgör. Till höger ser du hur man beräknar vilket E/kT värde som behövs för att magnetiseringen skall vara stabil en viss tid. E är djupet hos energiminima i figurerna på sidorna 20 och 23. (f) visar relaxationstiden som funktion av storlek för små rätblock av magnetit. Notera det extrema tidsberoendet som funktion av partikelstorleken.



Hur kan man då datera NRM? Ett stort antal dateringsmetoder är numer tillgängliga, och dessa kan klassificeras efter de fysikaliska processer dateringsmetoden avser. U–Pb metoden tillämpad på zirkon (ZrSiO_4) reflekterar zirkonkristallens kristallisation, och man har visat att isotopförhållandena i zirkon är extremt motståndskraftiga mot temperaturförändringar. Därför kan man inte säga att en sådan ålder generellt skulle motsvara åldern på en paleopol som bildats vid lägre temperatur. Snarare utgör den ett maximivärde för åldern hos NRM. Ett viktigt framsteg för datering av basiska bergarter är användandet av mineralet baddelyit (ZrO_2) eftersom att många bergarter saknar zirkon helt och hållet. Andra metoder som t ex U–Pb datering av titanit (CaTiSiO_5) kan både reflektera mineralets kristallisation, och den tidpunkt då titaniten svalnade under en viss blockeringstemperatur. Det är viktigt att man kombinerar rätt dateringsmetod med paleomagnetiska data. Man bör då välja en metod som daterar temperaturvariationer i bergarterna. Många anser att ^{40}Ar – ^{39}Ar metoden tillämpad på olika mineral

är bäst då man känner till sk blockeringstemperaturer (den temperatur vid vilken den isotopgeologiska "klockan" startar) för olika mineral, t ex hornblände, muskovit, biotit, plagioklas och kalifältspat. Dessa ligger intervallet 500–90°C. Blockeringstemperaturer för magnetit, titanomagnetit och övergångsformer till maghemit kan vara allt från ca 600° (övre gräns okänd) ned till –260°C.

Tackord

Författaren tackar Kajsa Hult, SGU, för hjälp med flygmagnetkartan, och Audrius Šešys, Lunds Universitet för prov med Karlshamnsgranit.

Erik Eneroth är doktorand vid Geologiska institutionen, Lunds universitet;
erik.eneroth@geol.lu.se

Torksprickor i sediment under vattnet, hur tusan går det till?

"Syneres" – En förklaring på en inte så välkänd geologisk process och tillika en möjlig förklaring till några av de egendomligheter som visades av Erich Spicar i artikeln om Dalasandstenen i Geologiskt forum 44.

AV MAGNUS JOHANSSON

Sprickbildning i sediment är en vanlig företeelse. Typiska orsaker är t.ex. uttorkning av större eller mindre vattensamlingar eller av sedimenttytor i ett "Wattenmeer" (långgrunda stränder i tidvattenzonen som regelbundet torrläggs vid ebb, finns bl.a. vid den tyska Nordsjökusten). Frost kan även föra till sprickbildning. På land kan liknande former bildas direkt i marken. De flesta har säkert sett bilder på uppsprucken jord från områden drabbade av torka, t.ex. i Nordafrika. När små vattenpölar torkar här hemma kan vi se samma fenomen i liten skala.

Gemensamt för dessa former är att de alla bildas subaeriskt (på land) genom uttorkning av någorlunda finkorniga sediment som t.ex. lera eller kalkmargel. Vatten fördunstar ur lermineral och okonsoliderade (lösa) sedimentlager. Volymen minskar, men skiktet är fortfarande den samma. Algmattor och/eller lerlager tvingas att spricka upp i ett polygonmönster med något uppåt välvda kanter. Ju mer ytan torkar ut, desto fler sprickor bildas och desto grövre blir de.

Nybildade sedimentära strukturer som t.ex. torksprickor försvinner ofta snabbt igen. Precis som fotspår på en sandstrand spolas de bort, bildas på nytt för att återigen eroderas. Om erosionen uteblir kan sedimentstrukturer också på olika vis bevaras vid försteningen av sedimentet. Där finns å ena sidan originalet, som är en negativform på ovansidan av det uttorkade skiktet. Dessutom finns sprickans utfyllnad genom senare avsättning av yngre sedimentlager. På undersidan av det nya skiktet bildas då en avgjutning av originalsprickan som en positiv form.

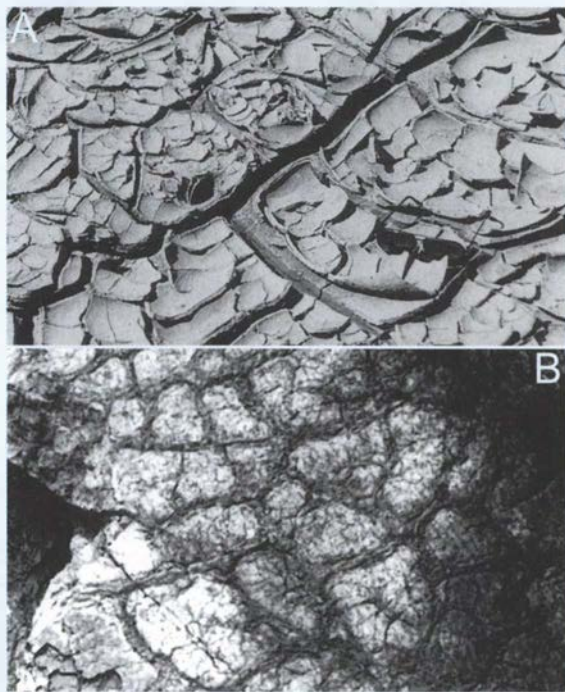
Dalasandstenen är en mellan 1200 och 1700 miljoner år gammal deltabildning avlagrad i en kontinental miljö. I sådana sediment är subaeriska torksprickor genom tidvis torrläggning av skikttytor en vanlig bildning.

De spolformade korv/linsliknande strukturer i Dalasandstenen som beskrivits av Erich Spicar (*Geologiskt Forum* 44) kan enligt Plummer & Gostin (1981) och Collinson & Thompson (1989) inte förklaras av subaeriskt bildade torksprickor. Processen (vätske- och volymförlust) har ett liknande förlopp, men orsak och resultat (torksprickans form) är en annan. Uttorkning kan nämligen även ske subakvatiskt (under vattnet)! Nu tänker säkert alla att jag har tomtar på loftet, men det finns en tämligen enkel förklaring även för detta fenomen. :-)

Som ett vardagligt exempel för att bättre förstå denna process kan man ta osttillverkning. Vid ystningen tillsätts löpe till mjölken och mjölkproteinerna koagulerar. Man får en kompakt ostmassa av fett och protein och med vasslen avskäras vatten och vattenlösliga ämnen. Helt enkelt: mjölkens ursprungsvolym minskar genom dehydrering (vätskeförlust). Ostmassan dras samman, koncentreras och spricker upp.

Ett fackuttryck för detta är "syneres", (engelska: "syneresis") och betyder ungefär sammandragning, krympning genom att avge vätska. Samma sak händer med ett vattenmättat, löst (d.v.s. ej kompakterat) sedimentskikt (lera, kalkslam, etc.). Istället för tillsats av ostlöpe är orsaken till att sedimentet blir dehydrerat en ändring i vattnets salinitet. Om salthalten i vattnet stiger gentemot salthalten i leran på botten, t.ex. p.g.a. ökad fördunstning under en torrperiod strävar systemet efter att utjämna olikheterna. Vatten dras ur sedimentet i ett försök att "späda ut" det saltare vattnet ovanför botten (ungefär som kött som konserveras i saltlake).

Genom vattenförlusten stiger saliniteten i sediment-skiktet tills den relativa saltkoncentrationen i vatten och sediment är ungefär densamma. Vätskeförlusten gör att



A. Recenta torksprickor på en leryta. Man kan se torksprickor som formar stor- och småskaliga polygonmönster och det tunna lerlagret på ytan har upprullade kanter. Solglasögon nere till höger som skala. B. Polygonmönster av utfyllda torksprickor på en skiktovansida (negativform) i en lagerföljd med sand- och lerstenar från karbon, Nova Scotia. Polygonerna är 20–30 cm stora. Bilderna är hämtade ur Collinson & Thompson, 1989.

sedimentet dras samman och ytan spricker upp. Resultatet ser annorlunda ut jämfört med subaeriska torksprickor. Vid syneresis bildas oftast spolformade linser och korvar, mera sällan ett genomgående polygonalt spricksystem. Subakvatiska dehydreringssprickor kan bildas såväl i kontinental miljö, som på olika djup i marin miljö. Sprickorna blir ofta inte igenkända och beskrivs då som vanliga torksprickor eller som någon sorts bioturbation (grävda gångar eller andra spår av något djur som levt i sedimentet eller på botten), ibland rentav som en sorts fossil.

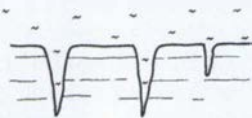
I Erich Spicars artikel i Geologiskt forum 44 visar de tre bilderna på sidan 23 sannolikt en avgjutning (positivform) av subakvatiska dehydreringssprickor genom ett yngre lager sandsten som avsatts på den dehydrerade och uppspruckna sedimentytan. Sålunda ser man på bilderna den undre sidan av ett sandlager som avsatts efter att sprickorna bildades.

Likartade polygon- och linsstrukturer kan också skapas genom sprickbildning inom ett sedimentskikt genom kompaktion från överliggande lager (Tanner, 1998). Här finns det en liknande process med volymförlust genom vattenut-söndring, också denna gång subakvatiskt, men p.g.a. tryck. Kontraktionen sker parallellt med lerskiktets utsträckning och sprickorna fylls simultant med sand som pressas in från ett över- eller underliggande sandskikt vid kompaktionen av lagerföljden.

Man kan skilja på dessa båda subakvatiska sprickbildningar, även om de makroskopiskt ser lika ut. De dehydreringssprickor som bildats inom sedimentskikt i en lagerföljd har en fyllning (oftast sand) med flytstruktur som visar att sanden aktivt pressats in från ett annat skikt. I sprickor som bildats på en skiktovansida genom salinitetsändringar i det överliggande vattnet saknas flytstruktur i fyllningen eftersom den passivt sedimenterats tillsammans med nästa sedimentlager.

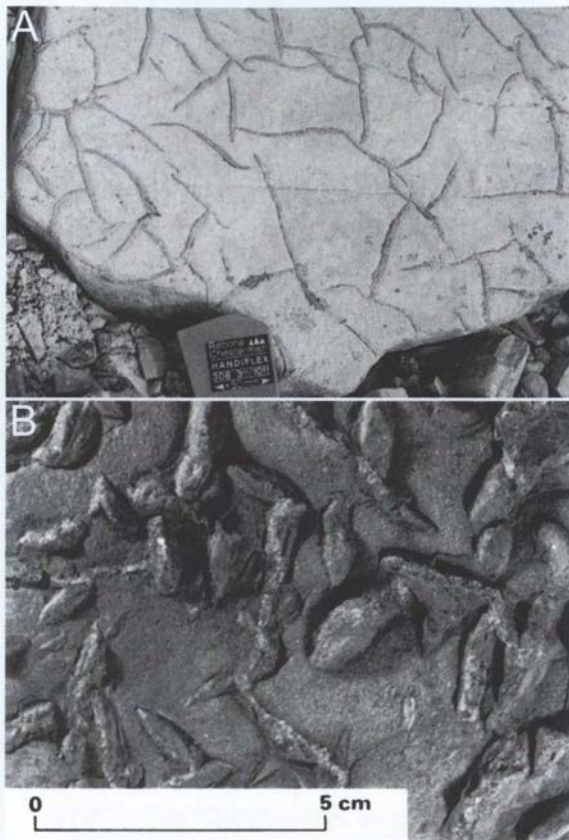
Det finns en praktisk geologisk användning för sedimentstrukturer som t.ex. torksprickor och bioturbationer. Genom att studera skitkytor på stenar i naturen kan man definiera ovan- och undersidan på en sedimentär lagerföljd. Subakvatiska dehydreringssprickor är dock inte lika bra ägnade som subaeriska torksprickor, då ytan mellan sprickorna är plan och det är svårare att bestämma vad som är upp och ned. Genom dessa och andra sorters sedimentstrukturer kan man dessutom få värdefull information om den miljö som rådde då sedimentet avsattes.

Subaeriska sediment-sprickor som bildats genom uttorkning. Typiskt är uppböjda kanter på de översta skikten.



Dehydreringssprickor bildade genom syneresis av ett sedimentlager i subakvatisk miljö.

Principskiss som visar två exempel på subaerisk och subakvatisk bildning av torksprickor i profil. Förändrad efter Tanner, 1998.



A. Utfyllda oregelbundet formade subakvatiska dehydreringssprickor (negativform) på ovansidan av en kalkmargelbank. Cass Fjord Formation, kambrium, nordvästra Grönland. Måttband som skala. B. Avgjutning av subakvatiska dehydreringssprickor (positivform) på undersidan av en sandstensbank som visar påfallande likhet med bilderna från Dalasandstenen (jfr. Geologiskt forum 44, s. 23). Independence Fjord Group, Proterozikum, nordöstra Grönland. Bilderna är hämtade ur Collinson & Thompson, 1989.

Källor

- Collinson, J.D. & Thompson D.B., 1989: Sedimentary structures. 2 uppl. Hyman, London. 207 sidor.
 Plummer, P.S. & Gostin, V.A., 1981: Shrinkage cracks; desiccation or syneresis? *Journal of Sedimentary Research* 51 (4), 1147-1156.
 Spicar, E., 2004: Egendomliga bildningar i Dalasandstenen. *Geologiskt forum* 44, 18-25.
 Tanner, P.W.G., 1998: Interstratal dewatering origin for polygonal patterns of sand-filled cracks: a case study from late Proterozoic metasediments of Islay, Scotland. *Sedimentology* 45 (1), 71-89.

Magnus Johansson är student i Geologi och Naturgeografi vid Universitetet i Hannover, Tyskland; magnus.johansson@arcor.de

Sven Hjelmqvist (1908–2005)

Berggrundsgeologen Sven Hjelmqvist, prof. emeritus i Lund och medlem i Geologiska Föreningen sedan 1927, avled den 3 januari 2005 i en ålder av 96 år. Hans närmaste är barnen Ulf, Karin och Eva med familjer. Vid begravningen deltog även den mer än hundra år gamle brodern Bengt, som dock gick bort några månader senare.



Sven Hjelmqvist föddes och växte upp i Lund. Intresset för bergarter och mineral väcktes redan i femårsåldern, då han också lär ha sagt att han skulle bli professor i "stenar". De första vetenskapliga uppsatserna och en utmärkt handledning i mineralogi tillkom tidigt. År 1934 följde doktorsavhandlingen om Romeleåsens berggrund. Därefter blev han docent men övergick så småningom helt till Sveriges Geologiska Under-

sökning (SGU) i Stockholm. Till Lund återvände Sven Hjelmqvist 1952, nu som professor i geologi, särskilt mineralogi och petrografi. I den egenskapen men även som instruktör och som ledare av talrika exkursioner kom Sven att fostra en betydande del av de nästföljande generationerna av svenska geologer. Ledamot av Kungl. Fysiografiska Sällskapet i Lund blev han 1952, ledamot av Kungl. Vetenskapsakademien 1968. I Fysiografiska Sällskapets annaler märks han framför allt som dess synnerligen framgångsrike skattmästare åren 1973–1988. Genom hans skicklighet flerdubblades de summor som utdelas i form av stipendier och priser.

En stor del av Sven Hjelmqvists livsgärning var knuten till SGU, där han blev e.o. geolog 1936 och statsgeolog 1942. Med detta arbete trivdes han utmärkt. Livet igenom förblev han i själ och hjärta fältgeolog, och förmedlade som akademisk lärare en undervisning som gav en god balans mellan praktisk och teoretisk geologi. Fältgeologin uteslöt dock ingalunda ett intresse för tekniska hjälpmedel och nya arbetsmetoder. Sin största insats gjorde han genom kartläggningsarbeten framför allt i Dalarna och Bergslagen, men även i Sydsverige. I Dalarna träffade han också sin blivande hustru Anna-Lisa, som 1945 blev SGUs första kvinnliga extrageolog, men som gick bort redan 1969.

Sven Hjelmqvist stod för berggrundsdelen i ett flertal kombinerade geologiska kartblad i SGUs Aa-serie. Bland hans studier i malmgeologi märks framför allt uppsatserna om Stribergs malmtrakt och Smålands Taberg. Hans regionala arbeten nådde sin höjdpunkt 1966 i och med publikationen av berggrundskartan med beskrivning över Kopparbergs län (numera Dalarnas län). Under sina senare år som professor i Lund blev han alltmer intresserad av plattektoniken. Inom detta fält skrev han bl.a. en ytterst framåtsyftande uppsats om Nordens plattektoniska tillväxt (1973), där han fann



Med Anna-Lisa, som var SGUs första kvinnliga extrageolog, på bladet Säter. Foto G. Lundqvist 1946, samma år som Sven och Anna-Lisa (f. Bergqvist) gifte sig.

2710

tonalit,
Fagervik, Luleå

2710

2700

tonalit,
Alhamn, Luleå

2700

2690

Första globala viktiga jordskorpebildande händelsen
första "slab avalanche"

2690

Extrageologkurs på bladet Säter.
Foto G. Lundqvist 1947.



en analogi med Nordamerikas nu pågående tillväxt ut mot Stilla Havet. Dessutom lade han grunden till det på bl.a. plattrörelser inriktade paleomagnetiska laboratoriet i Lund. Ett allmänt omdöme om hans geologiska iakttagelser och beskrivningar är att de tillhör de allra främsta vi har. Deras värde kommer säkerligen att bestå för all framtid.

Sven Hjelmqvist var speciellt intresserad av vulkaniska bergarter, och företog i detta sammanhang studieresor till bl.a. Italien, Japan och Hawaii. Hans kunskaper i vulkanologi kom väl till pass i Dalarna. När det gäller tolkningen av porfyryerna i norra delen av länet (kända som material i vackra urnor, vaser m.m.) blev han en pionjär, och hans arbeten räknas numera som klassiska. Redan 1956 klarlade han

att porfyryerna var avsatta som s.k. ignimbriter ur enorma flöden av vulkanisk aska och pimpsten. Av mycket stort värde är också ett senare (1982) arbete om Dalaporfyryerna, där han i text och bild ingående beskrev de olika porfyrtyperna.

Som professor kännetecknades Sven Hjelmqvist av initiativkraft och god organisationsförmåga. Flera nya laboratorier inrättades, bland dessa ett synnerligen framgångsrikt för paleomagnetism. Stora insatser gjordes även inom t.ex. röntgenkristallografi och malmmikroskopering. Han var mycket omtyckt som chef och lärare, alltid korrekt och omtänksam men mitt i allvaret gärna med en glimt i ögat. Dessutom var han en mycket intresserad och skicklig fotograf.

Trots sin tillbakadragenhet präglades Sven Hjelmqvist av en orädd integritet snarare än av anpassning till för tillfället "korrekta" opinioner. Hans rakryggade ställningstaganden men även humoristiska kommentarer i frågor som rörde såväl kärnkraft som akademisk meritvärdering ledde till att han blev allmänt aktad både av geologkolleger och i en bredare krets. En utmärkt sammanfattning av den då pågående kärnkraftsdebatten var exempelvis den 1989 utkomna skriften "Den elaka häxan Kärnkraft".

Det svenska geovetenskapliga samhället har all anledning att minnas Sven Hjelmqvist med stor respekt och tacksamhet.

*Roland Gorbatshev, Karl-Axel Kornfält,
Thomas Lundqvist, Lars Persson,
Roy Stanfors, Hugo Wikman*



Exkursjon på Sardinien med Lunds Geologiska Fältklubb.
Foto Lars Persson 1970.

2680

tonalit,
Råstojaure

2680

2670

Kukkolagnejs
Haparanda

2670

2660

granodioritfragment
Mittihedberget, Luleå

2660

Erik Fromm 1915–2005



Erik Fromm 1985.
Foto Esko Daniel.

En av svensk geologis tro-tjänare, förre statsgeologen och avdelningsdirektören vid Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), docent Erik Fromm avled 11 januari 2005, 89 år gammal.

Erik Fromm föddes i Stockholm 1915 och tog studenten 1933 vid Östermalms Högre Allmänna Läroverk. Redan som ung student började han att arbeta som extrageolog för SGU. 1937 gjorde han sitt första arbete för verket, nämligen en karta över ett ravinområde norr om Ludvika, publicerad i beskrivningen till kartbladet Smedjebacken. Med reguljär geologisk kartering började han på kartbladet Hedemora följande år. Militärtjänst, under vilken han genomgick underofficersutbildning, tog på grund av kriget mycken tid varför han vid dåvarande Stockholms Högskola tog sin fil. kand-examen först 1942 med ämnena geologi (det då odelade ämnet), geografi och botanik. Fast anställning vid SGU erhöll han 1946 efter avlagd fil. lic.-examen i det fortfarande odelade geologiämnet. 1952 utnämndes han till statsgeolog och efter befordran i flera omgångar blev han 1970 chef för den dåvarande Allmänna byrån, vilken svarade för SGU:s uppdragsverksamhet. Efter omorganisationer var han sedan fram till sin pension 1980 avdelningsdirektör vid Kvarter- och hydrogeologiska byrån.

Erik arbetade under hela sin verksamma tid med geologisk kartering, först i Bergslagen och sedan i nordligaste Sverige, där han framställde den första jordartskartan över Norrbottens län nedanför lappmarksgrens. Flera rent vetenskapliga arbeten blev en biprodukt därav. De samlade norrbottensarbetena utgjorde hans doktorsavhandling som han försvarade vid Stockholms Universitet 1965. Samma år antogs han som oavlönad docent vid universitetet. Han påbörjade även jordartskarteringen av Västernorrlands län, men till följd av byråchefsskapets betungande plikter måste han snart lämna denna uppgift. Då jag 1967 övertog densamma inleddes arbetet med en översiktsresa varunder jag kunde glädja mig åt såväl Eriks gedigna geologiska kunskaper som många kvällars synnerligen glada umgänge med honom.

Erik Fromm var en pionjär då det gällde datering av den geologiska utvecklingen efter istiden. Vegetations- och miljöutvecklingen studerar man med pollenanalys och med hjälp av diatoméer får man en bild av Östersjöns utveckling. Erik var den förste som, redan 1938, kombinerade dessa metoder med Gerard De Geers välkända dateringsmetod, lervarvskronologin. Därigenom fick vi för första gången en absolut datering av de olika utvecklingsskedena under de senaste 8000 åren. Detta tillsammans med Eriks glacialgeologiska insatser under norrbottensarteringen visar den stora bredden av hans kompetens.

Erik släppte aldrig sitt intresse för lervarvskronologin. I flera skrifter diskuterade han dess möjligheter och svagheter. Sitt viktiga arbete om kronologin och isavsmältningen i Dalarna grundad på denna metod publicerade han först preliminärt 1945 och så sent som



Erik Fromm under jordartskartering i Norrbottens län.

1991 utkom det definitiva resultatet därav. 1996, vid 81 års ålder, presenterade han metoden populärt i *Forskning och Framsteg*.

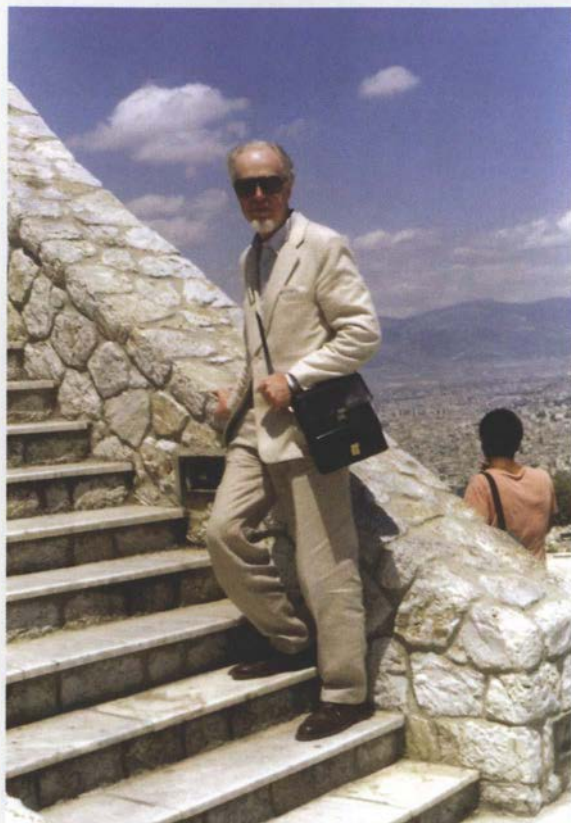
Såsom statsgeolog fick Erik allt mer ägna sin tid åt andra uppdrag än kartering. Som sekreterare i den svenska organisationskommittén för den tjugoförsta internationella geologkongressen i Köpenhamn 1960 hade han ansvar för samordning av de svenska insatserna och för tryckningen av de tillhörande kongresspublikationerna. Som envar som har erfarenhet av dylika uppdrag vet, så var detta en uppgift som skulle kunna knäcka den starkaste men för Erik tycktes det snarast vara en stimulans.

Hans arbete vid SGU kom att i växande omfattning röra praktisk kvartärgeologi, framför allt som opartisk sakkunnig vid vattendomstolar i samband med regleringen av norrländska älvar och utbyggnaden av kraftverken där. Det gällde att bedöma markskador, igenslamning av sjöar, påverkan på brunnar m m. Erik Fromm blev genom sin kunnighet och absoluta opartiskhet respekterad av alla parter i målen. Flera av dessa mål medförde en uppföljning under många år. Med detta sysslade Erik långt efter sin pensionering utan att fördenskull släppa sitt djupa intresse för den rena naturvetenskapen.

I domstolsärendena bidrog inte bara Eriks kunnighet i geologi utan även ett bland naturvetare inte alltid förekommande sinne för juridiska formaliteter. Då jag 1972, motvilligt, övertog chefskapet för byrån hade byråkratin börjat lägga sin effektivitetsdämpande hand över verksamheten. Min gode vän Eriks intellektuella skärpa var till stor hjälp då det gällde att tolka nya regler och förordningar och ändå bedriva en produktiv verksamhet.

Erik Fromm var en person vars integritet och ojävighet ingen betvivlade. Det gällde inte bara vid domstolsförhandlingar utan i lika hög grad det vetenskapliga arbetet. Inom den geologiska forskningen är det ofta fråga om tolkningar av observerade fakta, vilket alltid lämnar ett visst utrymme för fantasi och spekulationer. Erik Fromm var därvidlag restriktiv, vilket medfört att hans vetenskapliga produktion inte tillhör de mest omfattande. Vad han sade och skrev var till hundra procent pålitligt. Det har medfört att vid senare tids nydanande arbeten i nordligaste Sverige – man kan tala om ett paradigmskifte – Eriks iakttagelser kunnat inordnas i de nya tolkningarna. Hade han beskrivit en geologisk företeelse på ett visst sätt kunde man lita på att det återspeglade de faktiska förhållandena.

Erik deltog livligt i föreningsverksamheten inom geologi och geografi. Geologiska Föreningen tillhörde han sedan 1934 och i flera omgångar under åren 1947–66 innehade han förtroendeposter där. Detsamma gällde Geologklubben vid Stockholms (då) Högskola. 1938–49 var han ordförande i denna och 1935–36 dess sekreterare. Han blev sedermera en av klubbens få hedersmedlemmar. Ännu vid hög ålder sågs han ofta vid mötena, både bland åhörarna och som föredragshållare. Erik var dock ingen fackidiot. Han kombinerade sitt intresse för



Efter sin pensionering ägnade sig Erik Fromm åt Grekland och dess gamla kultur.

naturvetenskapen med djupa kulturella intressen, t ex för kammarmusik och historia. Efter sin pensionering ägnade han sig bl a åt att studera grekiska och den klassiska grekiska kulturen.

Erik Fromm hade en väl utvecklad, ibland något subtil, ibland drastisk humor, gärna kryddad med latinska sentenser. Han kunde då anledning fanns – vilket i byråkratiseringens tidevarv inträffade icke så sällan – uttrycka sina känslor i väl valda, kraftfulla ordalag. Vid sådana tillfällen motsvarade han knappast sitt namn Pius, som han latiniserat kallades bland vänner. In i det sista bevarade han ett klart intellekt trots att hans kropp småningom fick ge vika för åldern. Så sent som hösten 2004 kunde han dock delta i SGU:s seniorträff. Med Erik Fromms bortgång har de svenska geologerna förlorat inte bara en skicklig kollega utan även en mångsidigt begåvad vän.

Jan Lundqvist

GEONYTT

Under rubriken "Geonytt" upplåter 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.

Geologiska Föreningens styrelse

Vid årsmötet i Uppsala den 20 maj valdes tre nya ledamöter in i Geologiska Föreningens styrelse för 2006. Till ny sekreterare valdes Mikael Calner, forskarassistent i sedimentologi och stratigrafi vid Lunds universitet. Piret Plink-Björklund, forskarassistent i sedimentologi och sekvensstratigrafi vid Göteborgs universitet, valdes till ny skattmästare. Till ny ledamot valdes Åsa Frisk, doktorand i paleontologi vid Uppsala universitet. Tidigare valda för 2006 är ordförande Barbara Wohlfarth, redaktör Joakim Mansfeld samt ledamöterna Pär Weihed och Linda Wickström.

Seminarieserie – samhälle och geologi

I samband med årets Geologins Dag kommer Naturhistoriska Riksmuseet, Geologins Dag och Stockholms universitet att under måndag till torsdag den 5-8 september anordna en seminarserie som ska ta upp olika aspekter av allmänheten och geologin. De teman som tas upp är slutförvar av kärnavfall, naturkatastrofer, klimatfrågan och slutligen naturresurser kontra naturvärden. För mer information se: www.geologinsdag.nu

Medlemsdebatt – GFF

Var med och debattera om namnet på Geologiska Föreningens vetenskapliga tidskrift. 1994 bytte tidskriften namn från *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* till det nuvarande *GFF*. Under förra årsmötet togs frågan om namnet upp igen och nu välkomnar vi alla att delta i debatten på vår hemsida. www.geologiskaforeningen.nu. Inlägg skickas till gff@geo.su.se.

En prenumeration

på *Geologiskt forum* 2005 (nr 45-48) kostar 160 kr. **Gör så här:** betala 160 kr till Swedish Science Press på postgiro 489 7850-6 eller bankgiro 914-4601. Märk inbetalningskortet Geologiskt forum 2005.

Ordinarie lösnummerpris *Geologiskt forum* nr 46 är 50 kr.

Information angående äldre volymer av *Geologiskt forum* fås via redaktionen; gff@geo.su.se, eller beställs av Swedish Science Press (se sidan 2 för information).

Medaljfondsstipendiat

Vid senaste styrelsemötet beslöt Geologiska Föreningens styrelse att tilldela Fredrik Hellström, Göteborgs universitet, Medaljfondens stipendium till yngre ograduerad forskare. Stipendiet ges till den odisputerade forskare som under en tvåårsperiod publicerat det bästa bidraget i *GFF*. Fredrik Hellström fick stipendiet för sina artiklar "U-Pb zircon dating of the Hoting gabbro, north central Sweden", *GFF* 125 (tillsammans med S.Å. Larson), samt "Implications of the emplacement age of the Kläppsjö gabbro; a mafic layered intrusion in the Bothnian basin, north central Sweden", *GFF* 126.

Geologiska Föreningen

Medlemskap i Geologiska Föreningen kostar 400 kr/år inkluderande *Geologiskt forum* och den engelskspråkiga vetenskapliga tidskriften *GFF*, samt full tillgång till *GFF online*. Studerande betalar dock endast 200 kr/år (under max. 4 år). Medlemskap enbart inkluderande *Geologiskt forum* kostar 250 kr/år. Medlemskap utan prenumeration på någon av tidskrifterna kostar 100 kr/år.

Gör så här: betala medlemsavgiften till Geologiska Föreningen på postgiro 2108-9. Märk inbetalningskortet Ny medlem (alt. ny studerandemedlem) i Geologiska Föreningen, avgift för 2005.

Skriv tydligt namn och adress på inbetalningskortet, tack!

Adressändring

Geologiskt forum och *GFF* har begränsad efterändring, dvs de eftersänds normalt inte. För att inte missa något nummer är det därför viktigt att ge oss besked om ändrad adress så snart som möjligt.

För prenumeranter på *Geologiskt forum* gäller att adressändring skall meddelas Swedish Science Press, Box 118, 751 04 Uppsala, e-post: info@ssp.se.

För medlemmar i Geologiska Föreningen skickas adressändring till: Geologiska Föreningens redaktion, c/o Joakim Mansfeld, Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, e-post: gff@geo.su.se.

GEOLOGISKA FÖRENINGENS STYRELSE 2005

Barbara Wohlfarth, ordf., Inst. f. naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel. 08-16 48 83; barbara@geo.su.se

Mats Rundgren, sekr., Geol. inst., Kvartärgeol. avd., Lunds universitet, Sölveg. 12, 223 62 Lund, tel. 046-222 78 56; mats.rundgren@geol.lu.se

Katarina Persson-Nilsson, skattm., Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-1793 58; katarina.persson@sgu.se

Joakim Mansfeld, redaktör, Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel. 08-674 77 27; gff@geo.su.se

Dan Holtstam, ledamot, Vetenskapsrådet, 103 78 Stockholm, tel. 08-546 44 152; dan.holtstam@vr.se

Pär Weihed, ledamot, Luleå tekniska universitet, 971 87 Luleå, tel. 0920-49 13 71; par.weihed@sb.luth.se

Linda Wickström, ledamot, Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-1793 13; linda.wickstrom@sgu.se

