GEOLOGISKT FORUM

NR 51 SEPT 2006
ÅRGÅNG 13

Slutförvar av kärnbränsle

Byggnadsstenar

Asfalt

TEMA: Geologins roll i samhället
UTGIVES INFÖR GEOLOGINS DAG
15-16 september 2006

GEOLOGISKT FORUM

INNEHÅLL nr 51 september 2006

NYHETER OCH REDAKTIONELLT	SIDA
Forskarteam i Lund skrev egen lärobok.	3
Byggnadsstenar - Sten som tak och stomme.	4-5
Årsmöte och Rörö - en exkursion i skärgården.	47
Angelins pris till Jan Bergström.	48-49
Kalendarium.	49
Bokrecensioner.	50
Sista ordet: Geologin finns runt omkring oss.	51
Geonytt	52

ARTIKLAR & REPORTAGE	
Konsten att förutsäga jordbävningar. *Alasdair Skelton.*	7-9
Berggrunden som slutförvaringsplats. *Berit Lundqvist.*	11-16
Asfalt. *Erik Malmqvist.*	17-18
Hur man kan använda legeringar av metall för att förstå bergarter och tvärtom. *Sandra Piazolo.*	19-23
Människans behov av metaller. *Pär Weihed.*	24-31
Göta Älvdalens utveckling de senaste 12 500 åren. *Fredrik Klingberg.*	32-33
Geologer och arkeologer – i nära samarbete. *Daniel Andersson, Lena Grandin.*	34-39
Geoparker – Vårt geologiska arv. *Barbara Wohlfarth.*	40-43
Berättelsen om järnet från Disko, Grönland. *Dan Holtstam.*	44-46

Ansvarig utgivare: Joakim Mansfeld
tel 08-674 77 27, e-post: gff@geo.su.se

Populärvetenskaplig redaktör: Anna Kim-Andersson
tel 0708-205010, e-post: anna@qi-media.se
För text, layout och bilder svarar redaktören där inget annat anges.

Redaktionens adress: Geologiska Föreningens redaktion
Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet,
106 91 Stockholm
tel 08-6747727, fax 08-674 78 97
e-post: gff@geo.su.se; www.geologiskaforeningen.nu

Omslagsfoto: Christer Kjellén
Upplaga: 3 200 ex.
Tryckeri: 08 Tryck, Bromma
Ordinarie lösnummerpris: 50 kr

För annonser, distribution, prenumerationsärenden, adressändring köp av tidigare nummer samt reklamationer: kontakta redaktionen.

ISSN 1104-4721

Geologiskt forum ges ut av Geologiska Föreningen i samarbete med föreningen för Geologins Dag och med ekonomiskt stöd från Sveriges geologiska undersökning, SGU. Tidningen ingår i det ordinarie medlemskapet i Geologiska Föreningen. En helårsprenumeration på Geologiskt forum utan medlemsskap kostar 160 kronor/år.

Tidningen har sedan starten 1994 publicerat populärvetenskapliga artiklar inom geovetenskapens alla områden. Tidningen informerar Dig om aktuella händelser, litteratur och personer med anknytning till ämnet. Tidningen vill även vara ett forum för åsikter och debatt.

Redaktionsråd: Jan Bergström, Holger Buentke, Christer Carlberg (Hallands geologiklubb), Ingemar Cato, Rolf Frankenberg (Upplands Geologiska Sällskap), Antti Hultenström (Västerbottens Amatörgeologer), Jörgen Langhof, Erik Mofjell (Göteborgs Geologiska Förening), Erik Sturkell, Barbara Wohlfarth, Per Wretling (Bergslagens Geologiska Sällskap).

Geologiska Föreningen 18 71

Forskarteam i Lund skrev egen lärobok

Alldeles rykande färsk! Nu finns en ny lärobok i geovetenskap för studenter på grundnivå. Boken är skriven av ett team bestående av elva forskare och lärare vid Geobiosfärscentrum i Lund.

Boken som heter "Geobiosfären - en introduktion" tog två och ett halvt år att skriva.

– Det har varit en spännande process men även ett digert arbete att samordna och sammanställa allt, berättar berggrundsgeolog och professor emeritus Per-Gunnar Andréasson som är en av de medverkande elva författarna, samt bokens redaktör.

Boken har tillkommit som ett resultat av två önskemål. Dels att få fram en lärobok, med ett brett anslag och helhetsperspektiv, som kan användas av studenter och yrkesverksamma miljövetare, hälsoskyddsinspektörer, landskapsarkitekter, ingenjörer med flera.

Dels att skapa en bok som kan användas som kurslitteratur för studenter i geovetenskap på grundutbildningsnivå, anpassat efter nordiska naturförhållanden och även anpassat efter de nya krav på en bredare geovetenskaplig grundutbildning, som ställs numera i och med den så kallade Bologna-processen (inom EU).

Vi fokuserar på principer och processer och tar ett helhetsgrepp, säger Per-Gunnar Andréasson som nu hoppas att boken ska få ett bra mottagande och att den ska komma väl till användning.

– Ambitionen är även att vi ska vända oss till samhället och vi lyfter fram aktuella problem och debatter genom att resonera kring frågor som materialförsörjning, naturresurser och klimat.

– När man skriver en lärobok bygger varje kapitel på det föregående och det går inte att utelämna väsentliga delar. Det ställer stora krav på författarna. Samtliga elva är forskare, men även lärare, här vid Geobiosfärscentrum i Lund. Dessutom har vi haft stor hjälp av ämneskollegor, dataexperter och våra studenter, liksom vi känt ett stort stöd från förlaget, Studentlitteratur.

Medverkande författare, från vänster: Per Ahlberg, Mikael Calner, Leif Johansson, Lena Adrielsson, Vivi Vajda, Anita Löfgren, Lena Barnekow, Ronnie Liljegren, Mats Rundgren, Svante Björck, Per-Gunnar Andréasson. Foto: Fredrik Terfelt.

OM VÅR GEMENSAMMA GRUND

Jag upplever att många geovetare är frustrerade. Frustrerade över att kunskapen om geologi och angränsande ämnen – som alla handlar om hur naturen fungerar och ryms inom begreppet geovetenskap – många gånger kommer i skymundan. Frustrerade över att geologi/geovetenskap inte finns med som ett eget ämne, varken i grundskola eller på gymnasienivå. Frustrerade över att geokunskap många gånger negligeras i bygget av samhället och planeringen av detsamma – ibland med katastrofala resultat som följd. Varför är det så?

Är felet rentav geovetarnas eget? Gruppen är inte tillräckligt offensiv, marknadsorienterad och PR-mässig? Inte tillräckligt vältalig och engagerade i samhällsdebatten? Har inte nästlat sig in i maktens boningar i tillräckligt hög utsträckning?

Ja, kanske är detta en del av svaret? Kärleken till naturen, nyfikenheten och fascinationen över allt det vackra och spännande som människan möter i densamma, samt tilltron till vetenskapens förmåga att bringa klarhet, gör kanske att geovetarna ibland glömmer bort att det finns mer än den vetenskapliga parnassen. Det finns ett sammanhang att vara verksamt i också. Samhället. Kanske kan både du och jag bli bättre på att vara aktiva på detta plan? Engagera oss mer. Skriva mer artiklar, delta mer i det offentliga, engagera oss i Geologins Dag, hålla föredrag, delta i debatter.

Att geologin och den geovetenskapliga kunskapen har en fundamental roll i vårt samhälle, det vittnar många artikelförfattare om i detta numer av Geologiskt forum. Låt oss läsa, känna hopp och inspireras av deras kunskaper – och engagemang!

/ Anna Kim-Andersson, populärvetenskaplig redaktör

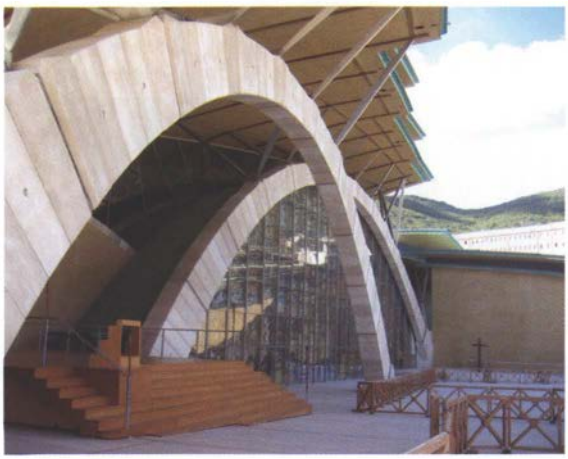
Sten som tak och stomme

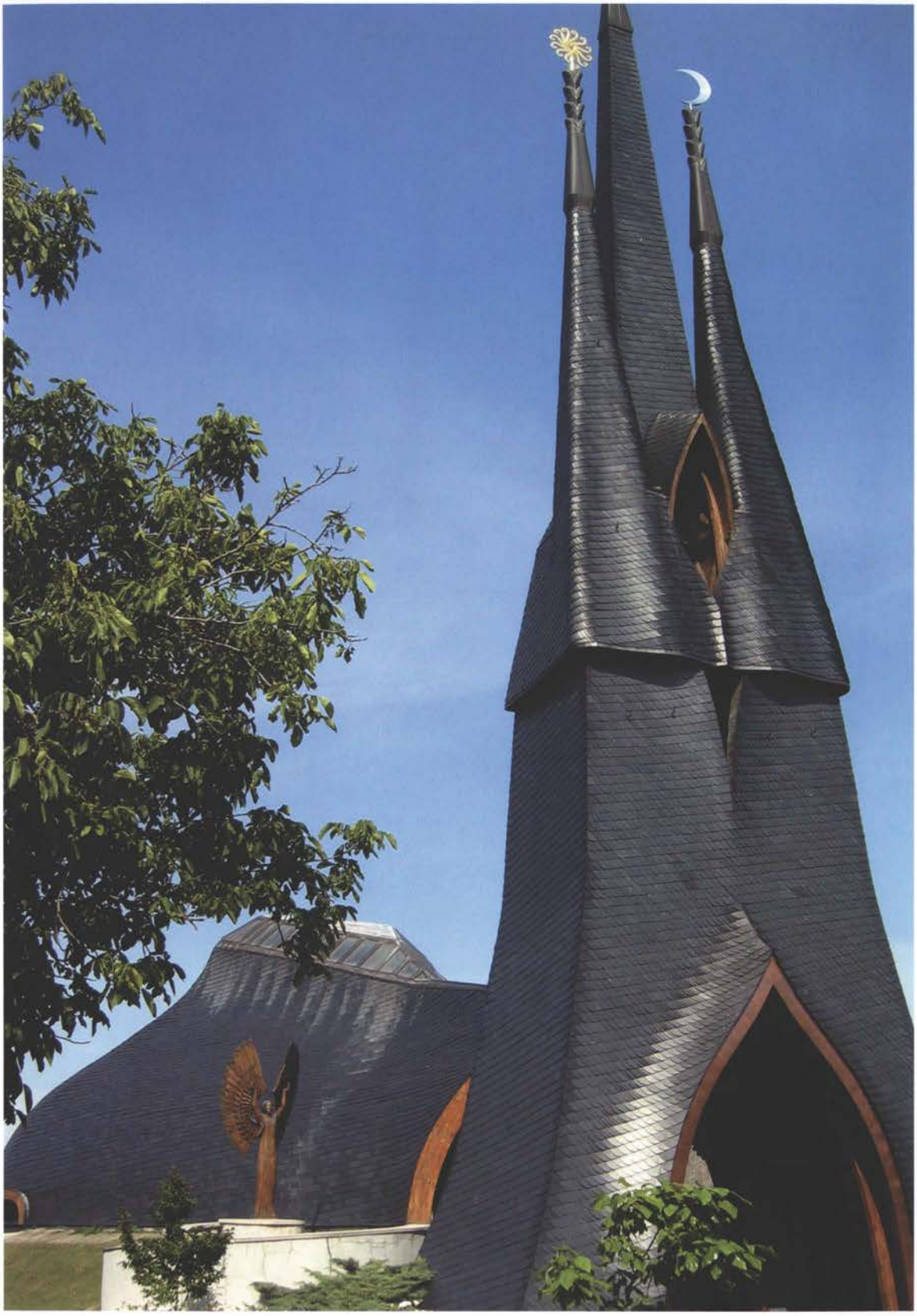
Att sten används som byggnadsmaterial är inget nytt, men särskilda byggnadstekniska kunskaper krävs. Tänk exempelvis på de gamla pyramiderna. Här presenteras några mer moderna byggnader – de är udda, men vackra och sköna och stenen är en väsentlig del i deras konstruktioner.

Bilden till höger: Den romersk katolska kyrkan i Paks, Ungern, är klädd med takskiffer. Torn, tak och vägg. Allt går ihop, det finns inga gränser. Kanske ser den rentav mer ut som ett djur än en byggnad, glatt och glänsande. Arkitekten Imre Makovecz vill inte redogöra för sina tankar bakom projektet. Han berättar inte heller varifrån skiffern ursprungligen kommer. Vill bara att byggnaden ska tala för sig själv. Och det gör den ju på sätt och vis. Det är verkligen en annorlunda stensatt kyrka. Till viss del miljoner år gammal... egentligen!

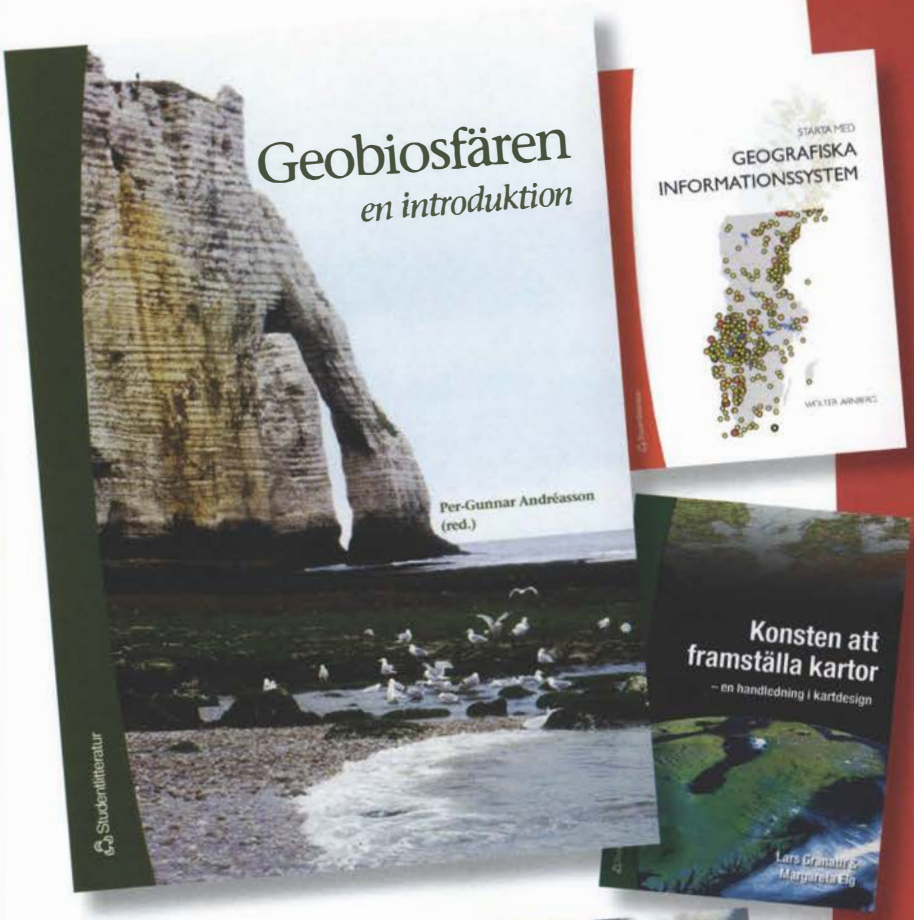
Bilderna nedan: I Padre Pio pilgrimskyrka, i San Giovanni Rotondo, Italien, används byggnadsstenar som bärande element, vilket är ovanligt nuförtiden. Själva takkupolen vilar på bågar av kalksten. De precisionstillverkade blocken kommer från närliggande orten Trani. Kyrkan är dessutom byggd för att vara jordbävningssäker. Kraftiga stålvajrar löper i borrade hål genom stenblocken. De ska ta upp dragspänningar från horisontallaster - som jordbävningar. Geologin har inverkan på denna helgedom ur många perspektiv skulle man kunna säga. Kanske tänker de som vallfärdar hit på det?

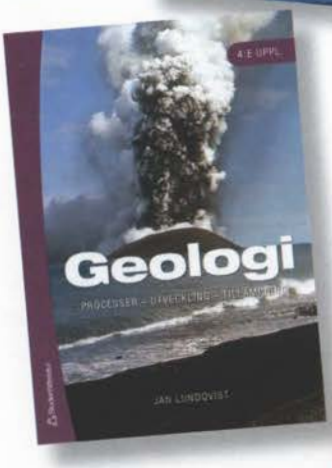
/ Tack till Christer Kjellén för fotografier och underlag till texten (se även artiklar i Sten nr 1, 2006).





Nyheter på bokfronten!





Geobiosfären
Art.nr 31854 • 640 sidor
www.studentlitteratur.se/31854

Starta med GIS
Art.nr 32281 • 99 sidor
www.studentlitteratur.se/32281

Konsten att framställa kartor
Art.nr 32294 • 198 sidor
www.studentlitteratur.se/32294

Geologi
Art.nr 2810 • 4:e upplagan • 273 sidor
www.studentlitteratur.se/2810

Köp via vår Internetshop!

Studentlitteratur AB, Box 141, 221 00 Lund
www.studentlitteratur.se

Studentlitteratur
VÄGEN TILL VINNANDE VETANDE

Konsten att förutsäga jordbävningar

Om hydrogeokemisk bevakning i jordbävningsdrabbade regioner. Idag pågår forskning bland annat vid Stockholms universitet.

TEXT / BILD Alasdair Skelton

Det finns samband mellan förändringar i grundvattnets kemiska sammansättning – och jordbävningar:

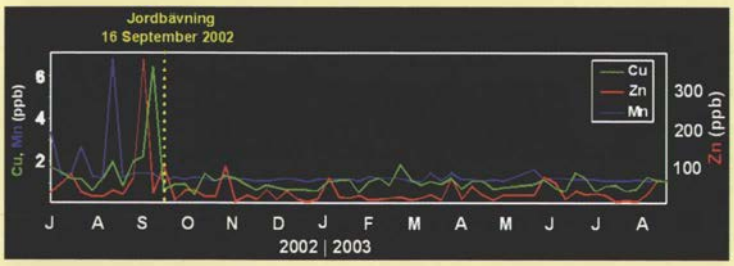
- 1971 rapporterades om förändringar i grundvattnets radonhalt innan en jordbävning av storleken 5,3 på Richterskalan drabbade Tashkent i Uzbekistan den 26 april 1966 (Ulomov och Mavashev, 1971). Radonhalten började öka ungefär ett år innan jordbävningen.
- En ökande elektrisk konduktivitet rapporterades ungefär sex månader innan en jordbävning med magnitud 6 drabbade Ryssland 1969 (Sadovsky et al., 1972).
- Förändringar i hastigheten hos seismiska vågor rapporterades några dagar respektive veckor innan jordbävningar i Ryssland (Nerserov et al., 1972) och Nordamerika (Aggarwal et al., 1973).
- 1973 noterade Scholz et al. (1973) ett samband mellan förändringar i grundvattnets kemi - och tiden för när förändringarna började ske (innan jordbävningen), jordbävningens magnitud, samt storleken på området som påverkades av efterskalv. Dessa författare presenterade även en hypotes som försökte förklara alla dessa förändringar som en konsekvens av sprickbildningsprocesser innan jordbävningen.

1995 väcktes frågan till liv igen då två artiklar publicerades i tidskriften Science. Dessa artiklar rapporterade om kemiska förändringar i grundvattnet innan en jordbävning med magnitud 7,2 drabbade japanska Kobe den 17 januari 1995.

Igarashi et al. (1995) upptäckte en ökning i radonhalten i grundvattnet några månader innan jordbävningen. Tsunogai och Wakita (1995) mätte också en ökning i sulfat- och kloridhalter några månader innan jordbävningen. Studierna gjordes efter jordbävningen och baserades på analyser av flaskvatten med tappningsdatum innan jordbävningen.

Den 5 mars 1996 träffades en grupp forskare på en konferens i Tokyo för att presentera dessa och andra studier som visar kemiska förändringar i grundvattnet innan jordbävningar. Resultatet blev en artikel som publicerades i tidskriften *Science* av Silver och Wakita (1996). Författarna noterade att kemiska förändringar oftast förekommer längs förkastningar och några hundra kilometer från jordbävningens fokus. Denna slutsats väckte viktiga frågor angående mekanismer och orsaker till kemiska förändringar i grundvattnet i samband med jordbävningar.

Ett antal studier (till exempel Okada, 1992) visar att spänningen som bildas före en jordbävning – några hundra kilometer från jordbävningens fokus – är alldeles för liten för att kunna orsaka en sprickbildning som i sin tur skulle leda till ökad interaktion mellan grundvattnet och berget och därigenom ändra grundvattnets kemi. Några andra forskare framförde att en jordbävning är slutresultatet av sprickbildning i en mycket stor volym av jordens skorpa som fokuseras stegvis utifrån jordbävningens fokus (Johansen et al., 2000). Modellen korrelerade mycket bra till ökningen i



Hydrogeokemiska förändringar i grundvattnet från borrhålet på norra Island, före och efter jordbävningen den 15 september 2002.

Grundvatten på Island.

kloridhalten innan jordbävningen som drabbade Kobe, Japan, 1995, och kan även förklara kemiska förändringar i grundvattnet innan jordbävningar, även långt ifrån jordbävningens fokus.

En grupp forskare vid Stockholms universitet påbörjade under 2002 en bevakning av grundvattens kemi på norra Island. Bevakningen har nu pågått i fyra år och den samordnas av doktorand Lillemor Claesson. Projektet har utvecklats till ett samarbete mellan Stockholms universitet, Orkustofnun Húsavíkur och Norges teknisk-naturvetenskapelige universitet. En gång i veckan tas tre vattenprov från ett 1,5 km djupt borrhål i basalt vid byn Húsavík på norra Island. Dessa prov skickas till Stockholm för analys av katjoner, anjoner och stabila isotoper. Det första vattenprovet togs den 3 juli 2002, ungefär tio veckor innan en jordbävning med magnitud 5,8 inträffade 100 kilometer från Húsavík (den 15 september 2002).

Resultaten visade att järn och kromhalter i grundvatten redan var onormalt höga när provtagning inleddes i juli. Mangan-, zink- och kopparhalter visade kortvariga och dramatiska anomalier fem veckor, två veckor respektive en vecka innan jordbävningen. Tidigare experimentella studier (Seewald och Seyfried, 1990) har visat att dessa metaller löses upp från basalt i kontakt med grundvatten vid höga temperaturer. Dessa studier tyder på upplösningssekvensen: järn → mangan → zink → koppar. Denna sekvens stämmer överens med ordningen av spårelementanomalier innan jordbävningen. Studien har publicerats i tidskriften *Geology* (Claesson et al., 2004). Det som gör projektet framgångsrikt är mängden av data samlade både innan och efter jordbävningen. Provtagning med avsikt att göra kemiska analyser gjorde det möjligt att analysera även låga jonhalter, syre- och väteisotoper. Men *ett* sammanträffande mellan kemiska förändringar i grundvatten och *en* jordbävning räcker inte alls för att kunna bevisa att sprickbildningen innan jordbävningen orsakade de kemiska förändringarna i grundvattet.

2004 inledde forskargruppen ett liknande projekt i Assam, norra Indien. I samarbete med kollegor i Indien samlades grundvattenprover från ett 100 meter djupt borrhål i granit i närheten av epicentrumet till den kraftiga jordbävningen som drabbade Assam 1893. Provtagningen har pågått i två och ett halvt år och kemiska förändringar har upptäckts i grundvattnet innan två jordbävningar. Den första jordbävningen inträffade den 9 december 2004 och nådde magnitud 5,5 på Richterskalan. Den andra jordbävningen inträffade den 15 februari 2005 och nådde magnitud 5,1. Båda jordbävningarna föregicks av tydliga kemiska förändringar i grundvattnet som kan bero på olika sorts vittring hos fältspat. Dessa förändringar mättes drygt 200 kilometer från jordbävningarnas fokus. Två sammanträffanden mellan kemiska förändringar i grundvattet och *två* jordbävningar är naturligtvis ett mer övertygande samband men måste ändå tolkas

oerhört försiktigt.

I dag är det mycket svårt att avgöra om hydrogeokemi någonsin kommer att ge information som kan användas för att kunna förutsäga jordbävningar. Först krävs kunskap om mekanismen bakom en eventuell koppling till jordbävningsaktivitet. För att komma vidare behövs insamling av stora mängder data särskilt innan jordbävningar. Eftersom vi inte kan förutsäga jordbävningar innebär det kontinuerlig bevakning i jordbävningsdrabbade regioner. Om hydrogeokemisk bevakning skulle leda oss ett steg närmare ett sätt att minska risken att människor drabbas av jordbävningar är det en mycket värdefull investering.

Foto: Lillemor Claesson

Provtagningsbassäng för vatten för forskarteamets borrhål på Island.

ALASDAIR SKELTON är professor i geokemi och petrologi samt prefekt vid Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet.

REFERENSER

Aggarwal, YP, Sykes, LR, Simpson, DW, Richards, PG (1973) Spatial and temporal variations of t_s/t_p and in P wave residuals at Blue Mountain Lake, New York: application to earthquake prediction. *Journal of Geophysical Research*, **80**, 718-732.

Claesson, L, Skelton, A, Graham, G, Dietl, C, Mörth, M, Torssander, P, Kockum, I (2004) Hydrogeochemical changes before and after a major earthquake. *Geology* **32,** 641-644.

Igarashi, G, Saeki, S, Takahata, N, Sumikaway, K, Tasaka, S, Sasaki, Y, Takahashi, M, Sano, Y (1995) Ground-water radon anomaly before the Kobe earthquake in Japan, *Science*, **269**, 60-61.

Johansen, A, Saleur, H, Sornette, D (2000) New evidence of earthquake precursory phenomena in the 17 January 1995 Kobe earthquake, Japan. *European Physical Journal B*, **15,** 551-555.

Nerserov, IL, Semonov, AN, Simbireva, IG (1972) Spatial-temporal distribution of ratios of compressional with shear waves for the Garm region. Geosciences Bulletin, Series A, **3**, 7-8.

Sadovsky, MA, Nersesov, IL, Nigmatullaev, SK, Latynina, LA, Lukk, AA, Semenov, AN, Simbireva, IG, Ulomov, VI (1972) The processes preceding strong earthquakes in some regions of middle Asia. *Tectonophysics*, **14**, 295-307.

Scholz, CH, Sykes, LR, Aggarwal, YP (1973) Earthquake prediction: a physical basis. *Science*, **181**, 803-810.

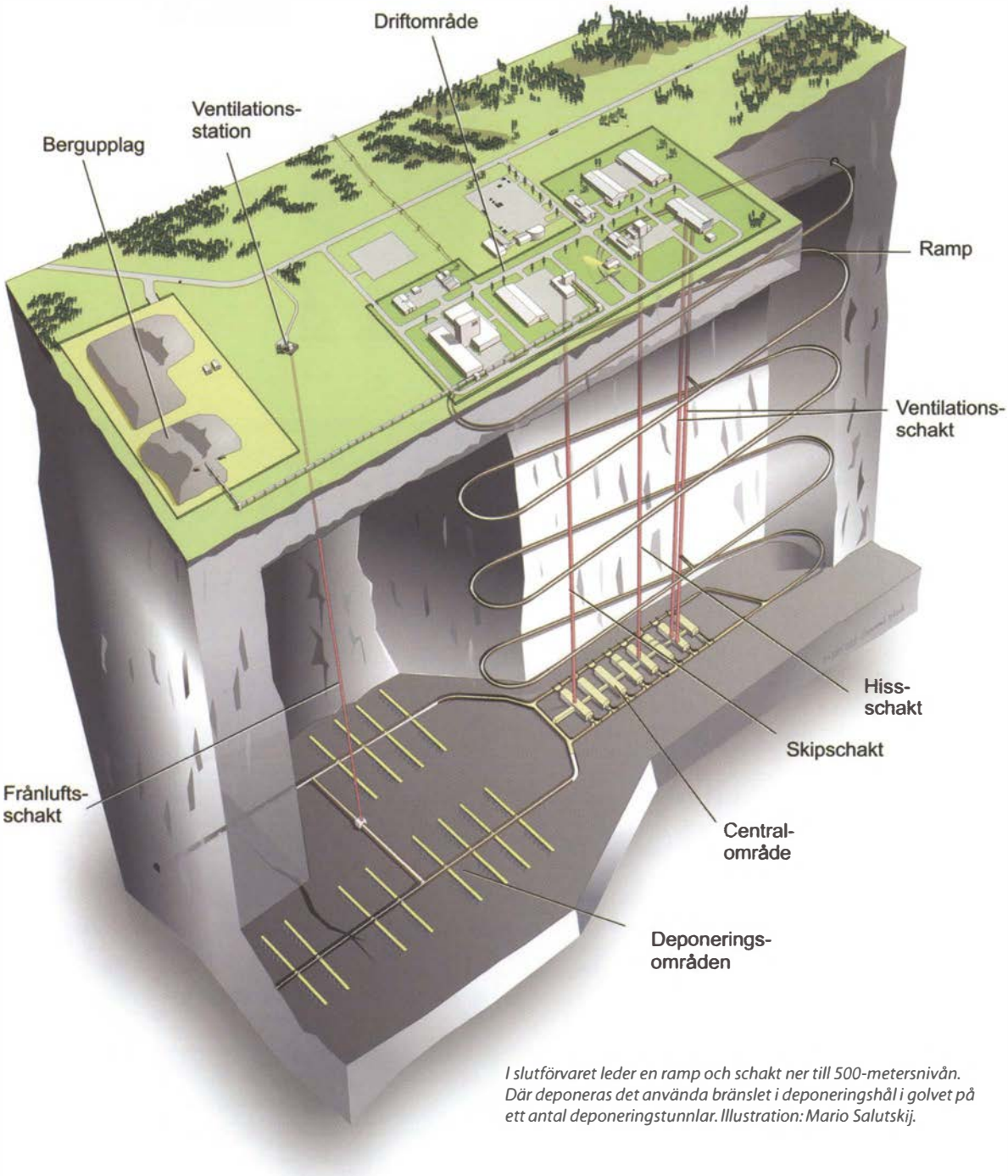
Seewald, JS, Seyfried, WE (1990) The effect of temperature on metal mobility in subseafloor hydrothermal systems: constraints from basalt alteration experiments. *Earth and Planetary Science Letters*, **101**, 388-403.

Silver, PG, Wakita, H (1996) A search for earthquake precursors. *Science*, **273**, 77-78.

Tsunogai, U, Wakita, H (1995) Precursory chemical changes in groundwater: Kobe earthquake, Japan. *Science* **269,** 61-63.

Ulomov, VI, Mavashev, BZ (1971) The Tashkent Earthquake of 26 April. *Tashkent: Acad. Nauk. Uzbeck.* SSR, FAN.

Berggrunden som



I slutförvaret leder en ramp och schakt ner till 500-metersnivån. Där deponeras det använda bränslet i deponeringshål i golvet på ett antal deponeringstunnlar. Illustration: Mario Salutskij.

slutförvaringsplats

Svensk Kärnbränslehantering AB vill kapsla in Sveriges använda kärnbränsle i koppar och sedan slutförvara det inbäddat i lera, 500 meter ner i underjorden. Frågan är dock: Var? Två områden, Forsmark och Laxemar, återstår nu i sökandet efter en lämplig plats.

TEXT Berit Lundqvist

Sverige har producerat el med kärnkraft under tre decennier. Kärnkraften svarar för knappt hälften av elförsörjningen i landet. Det innebär att nästan varannan glödlampa, varannan spis och varannan dator drivs med kärnkraftsel. El som ger ljus, kraft och värme, men som samtidigt också ger upphov till använt kärnbränsle.

Det använda kärnbränslet finns och måste tas om hand. Oavsett hur energiförsörjningen ser ut i framtiden. Och oavsett om folkviljan är för eller emot kärnkraft. Hur bränslet tas om hand är en viktig miljö- och hälsoskyddsfråga. Skadorna kan bli stora om detta sker på fel sätt.

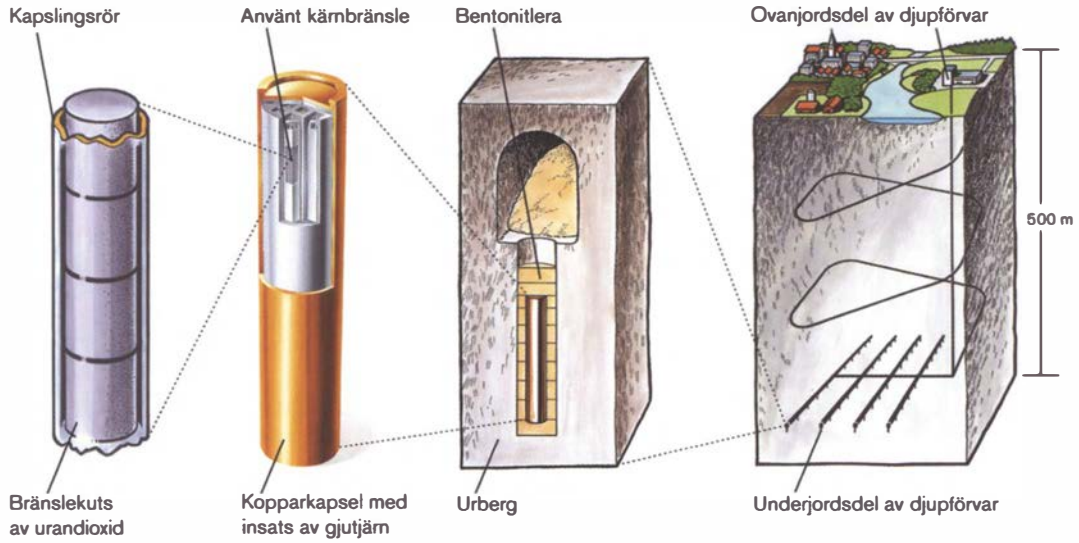
Kärnkraftindustrin fick redan på 1970-talet ansvar för att ta hand om allt radioaktivt avfall från sina anläggningar på ett säkert sätt. Ägarna till kärnkraftverken bildade därför tillsammans Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB. Några år senare instiftades också en fond för att klara finansieringen.

Under de senaste decennierna har SKB byggt upp ett system för att ta hand om olika typer av radioaktivt avfall. Det finns ett specialbyggt fartyg för transporter, ett slutförvar för olika typer av radioaktivt driftavfall och ett mellanlager för använt kärnbränsle. En viktig komponent saknas emellertid – ett slutförvar för använt kärnbränsle. Fram tills dess att ett sådant förvar tas i drift mellanlagras det använda bränslet i bassänger i en central anläggning i närheten av kärnkraftverket i Oskarshamn.

KBS-3-metoden

Myndigheterna har bestämt kraven på hur säkert slutförvaret ska vara: Risken för att en genomsnittlig person, som bor i förvarets närhet, ska skadas av strålning från radioaktiva partiklar får högst vara en på miljonen per år. Kravet är generellt och gäller oavsett var anläggningen ligger och hur den utformas. Nivån motsvarar ungefär en hundradel av dosen från den

Säkerheten i slutförvaret vilar på ett system av flera barriärer. Kopparkapseln, bentonitbufferten och berget ska tillsammans hindra de radioaktiva ämnena i bränslet från att komma ut i miljön. Illustration: Jan Rojmar.



Borrplats i Forsmark. Foto: Lasse Modin.

naturliga bakgrundsstrålningen som genomsnittssvensken får från rymden och marken varje år.

Ett slutförvar kan alltså se ut på många olika sätt, bara det fyller sin funktion. Efter att under många år ha studerat olika utformningar har SKB kommit fram till ett slutförvarskoncept som kallas KBS-3-metoden, där KBS står för kärnbränslesäkerhet. Metoden innebär att bränslet kapslas in i koppar och bäddas in i bentonitlera på ungefär 500 meters djup i berggrunden.

Enligt KBS-3-metoden byggs slutförvaret av material som finns naturligt i jordskorpan. Tanken är att förvaret i så hög grad som möjligt ska efterlikna naturen själv. På så sätt undviks oönskade effekter från främmande material. Dessutom byggs förvaret enligt flerbarriärprincipen. Olika barriärer (kopparkapseln, bentonitleran och berget) ska tillsammans hindra radioaktiva ämnen från att komma ut i omgivningen.

Platsvalet

Tekniken och pengarna för att bygga finns alltså. Däremot vet vi ännu inte var slutförvaret ska ligga. Att välja en plats är ingen lätt uppgift. Mycket måste stämma. SKB har genom åren lagt ner mycket tid och kraft på att formulera krav och kriterier för hur berget ska se ut för att det ska vara lämpligt för ett slutförvar. Dessutom finns specificerat en rad egenskaper som inte kan accepteras hos berget.

SKB får ibland kritik för att inriktningen inte är att finna den ur geologisk synvinkel absolut bästa platsen i landet. Men av praktiska skäl är det inte rimligt att genomföra detaljerade platsundersökningar (som kräver kilometerdjupa borrningar i berggrunden) på mer än ett fåtal platser i landet. För närvarande pågår platsundersökningar på två platser: Forsmark i Östhammars kommun och Laxemar i Oskarshamns kommun. En inledande platsundersökning har också tidigare genomförts i Simpevarp i Oskarshamns kommun. Denna har däremot avslutats. Tidigare har SKB även genomfört så kallade förstudier i Östhammar och Oskarshamn, liksom i sex andra kommuner.

Platsundersökningarna har pågått sedan 2002 och kommer att vara klara hösten 2007. Först på plan vid en platsundersökning är biologer och ekologer, som har till uppgift att göra inventeringar av olika slag för att fastställa utgångsläget. De undersöker såväl växt- som djurliv i detalj. En del är känt sedan förstudien. Hela området kartlades då översiktligt genom tolkningar av flygbilder. Under platsundersökningen ökar detaljeringsgraden. Noggranna vegetationskartor har upprättats över respektive område

Parallellt med undersökningarna av miljön på ytan har berggrunden också undersökts på djupet. Förstudierna har visat, i stora drag, hur berggrunden i både Forsmark och Laxemar ser ut. De har också bidragit till en översiktlig bild av vilka jord- och bergarter som finns i området.

Ekolodar berget

Det som en platsundersökning främst går ut på är att bestämma var det finns stora sprickzoner. Här är de seismiska undersökningarna en viktig del. Reflektionsseismik kan användas för att upptäcka olika typer av strukturer i berggrunden. Det kan röra sig om gränser mellan olika bergarter och sprickzoner. En reflektionsseismisk mätning är en slags ekolodning av jordskorpan. En liten sprängladdning genererar ljudvågor när den detonerar. Vågorna fortplantar sig i berget och reflekteras olika beroende på hur bergets sammansättning förändras. Databehandling av mätsignalerna från de vibrationer som uppkommer ger sedan en bild av jordskorpans struktur.

De seismiska undersökningarna ger emellertid inte tillräckligt med information för att man med säkerhet ska kunna säga hur det ser ut på djupet. Därför krävs även borrningar. Under platsundersökningen borras ett antal 1 000 meter djupa så kallade kärnborrhål på olika ställen inom respektive område. Alla hålen har 76 millimeters diameter från 100 meters djup. Diametern är större ner till detta djup för att hålet ska kunna pumpas på vatten. Varje hål tar minst två till tre månader att borra.

När en geolog ska kartera ett borrhål, det vill säga bestämma vilka bergarter berggrunden består av och vilka sprickor som finns, studerar han eller hon i första hand borrkärnor. Olika mätningar i borrhålet ger sedan kompletterande information.

Filmar borrhålens väggar

Men det är svårt att få en fullständig bild av hur berget egentligen ser ut enbart med hjälp av borrkärnor. För att råda bot på en del av bristerna har SKB vidareutvecklat den traditionella tekniken genom att ta video-

tekniken till hjälp. En tevekamera, som filmar borrhålsväggen runt om, sänks helt enkelt ner i hålet.

Den datorbehandlade bilden talar om var i djupled man befinner sig och vilken riktning sprickorna har. Det senare är ny information, som kräver en hel del arbete att få fram med traditionella metoder.

Själva borrningarna följs upp med omfattande mätningar i borrhålen för att fastställa bergets förmåga att leda vatten och för att bestämma hur fort grundvattnet kan transporteras upp till markytan. Mätningarna ger också kunskap om grundvattenkemin.

Främst är det halten av löst syre och salt som är intressanta. Syre kan medverka till att kopparkapseln, som det använda kärnbränslet ska kapslas in i, korroderar. Normalt är grundvatten på 500 meters djup fritt från löst syre, men det är viktigt att förvissa sig om detta.

I slutförvaret ska kopparkapslarna bäddas in i bentonitlera. Leran sväller när den tar upp vatten och håller på så sätt kapseln på plats och skyddar den mot mindre rörelser i berget. Bentonitlera finns också i det material som används för att fylla tunnlar och schakt när förvaret ska förslutas. Lerans svällförmåga minskar emellertid när vattnet blir för salt. Salthalten får därför inte vara för hög.

Hammarborrhål kompletterar

Bergets mekaniska egenskaper är också viktiga. De avgör bland annat vilka byggmetoder som kan användas. Hållfastheten bestäms i laboratorium med hjälp av prover från borrkärnor. Bergspänningarnas storlek och riktning mäts direkt i borrhålen.

Kärnborrhålen har kompletterats med ett antal hammarborrhål. Dessa är omkring 150 meter djupa och borrades med vanliga brunnsborrningsmaskiner på ett sådant sätt att berget pulveriseras vid borrningen. Inga borrkärnor kan därför tas upp från dem.

När det praktiska arbetet i fält är färdigt kommer det att finnas en uppsjö av data om geologin, hydrologin och förhållandena på markytan. Datamängden från respektive plats utgör underlaget till den modell av platsen som tas fram och till en anpassad utformning av slutförvaret. Platsmodellen och anläggningsutformningen är i sin tur utgångspunkten för en säkerhetsanalys som har till uppgift att bedöma säkerheten på de båda platserna.

Både Forsmark och Laxemar har sina för- och nackdelar. Den plats som slutigen blir vald, ska vara tillräckligt bra för att uppfylla alla säkerhetskrav med marginal. Klarar en plats säkerhetskraven är det inte längre meningsfullt att tala om ännu säkrare platser.

En bra plats ska också passa kommunens planer för hur marken ska användas. Att undvika att störa naturvårdens eller kulturvårdens intressen är viktigt. Andra områden kan vara olämpliga för att förvarets ovanjordsdel inte passar in i landskapsbilden eller för att transporterna till och från anläggningen skulle störa.

Vilka värden ska styra?

En svårighet i arbetet med att planera ett slutförvar är att värdera de olika faktorer som styr var förvaret ska ligga. Det är som att jämföra äpplen med päron. Plus att tidsfaktorn är så lång, ja – egentligen ligger den långt utanför vad den mänskliga hjärnan kan begripa. Vilken vikt lägger vi till exempel vid dagens transportmöjligheter jämfört med hur en istid påverkar berggrunden om tiotusentals år? Andra frågeställningar har rent filosofisk karaktär. Hur ska vi värdera abstrakta begrepp som människors rädsla? Och kommer framtida generationer att vara rädda för samma saker som de som lever idag?

Under platsundersökningen sker en noggrann kartering av berggrunden. Foto: Curt-Robert Lindqvist.

Ännu finns inga absoluta svar på hur olika omständigheter ska värderas, men det grundläggande villkoret är naturligtvis att slutförvaret ska uppfylla säkerhetskraven. Om så blir fallet på båda platserna kommer det slutliga valet att bli en fråga om avvägningar mellan alla aspekter.

Meningen är inte att SKB ensamt ska tala om vad som är viktigt. Förhoppningen är i stället att det växer fram en gemensam syn vid de dialoger som pågår med myndigheter och befolkningen i både Östhammars och Oskarshamns kommuner. Och i slutet av 2009 är det dags. Då ska SKB lämna in en ansökan om att få bygga slutförvaret i antingen Forsmark eller Laxemar.

BERIT LUNDQVIST är vetenskapsredaktör på SKB i Stockholm.

Hög spänning och lite vatten i Forsmark

TEXT Berit Lundqvist

En mandel doppad i knäck. Så kan man beskriva det berg som kanske blir slutlig viloplats för det svenska använda kärnbränslet. På geologspråk kallas mandeln för tektonisk lins. Med det menas en relativt opåverkad bergvolym, som på ytan har formen av en lins eller mandel, och som är omgiven av plastiska deformationszoner. Tektoniska linser är inte något ovanligt fenomen i norra Uppland. Forsmarkslinsen är bara en av många.

Assen Simeonov, geolog vid SKB:s platskontor, jämför berget i sprickzonerna runt den tektoniska linsen med knäck som stelnar.

– Så länge berget var varmt, det vill säga befann sig långt nere i jordskorpan där temperaturen är högre än närmare ytan, var konsistensen seg. Berget kunde röra sig utan att spricka. Man säger att det var utsatt för plastisk deformation.

Segt blev sprött

Under årmiljonernas lopp eroderades berget och den underliggande berggrunden steg långsamt mot ytan. Samtidigt blev den svalare. När temperaturen för ungefär 1 700 miljoner år sedan sjönk under 300°C ändrades också bergets egenskaper.

– Berget blev sprött och sprack upp när det rörde sig, berättar Assen Simeonov.

– Precis som man kan bryta av en skiva av stelnad knäck. Det uppstod sprickor och sprickzoner.

När stora regionala sprickzoner uppstått på båda sidor av linsen kunde merparten av bergrörelserna fortsätta där. Linsen mellan zonerna förblev skyddad från större bergrörelser. Att den tektoniska linsen är relativt opåverkad innebär dock inte att den är helt fri från sprickor. Det finns distinkta sprickzoner, som är mycket gamla och fyllda med olika typer av sprickmineral. Dessa zoner är för det mesta inte vattenförande. I den översta delen av berggrunden finns det dock gott om flackt liggande eller horisontella sprickor som ibland är kraftigt vattenförande. Sådana är förhållandena över i stort sett hela Sverige.

– Det är bland annat ett resultat av den senaste istiden och processerna i samband med inlandsisens avsmältning, förklarar Assen Simeonov.

– Berggrunden var, under inlandsisens tyngd, kraftigt nedtryckt i jordskorpan. Då isen smälte avlastades berget. I de översta delarna bildades horisontella sprickor, som kallas för bankningssprickor.

Torrt i nordväst

På djupet är det dock betydligt torrare. Speciellt gäller detta linsens nordvästra del, där det knappt går att mäta vattenflödena under cirka 250 meters djup. Det är också hit som SKB ska koncentrera de fortsatta undersökningarna. Anledningen till bristen på vatten på djupet är att berget är mycket sprickfattigt. Många av de sprickor som finns, speciellt branta sprickor med nordost-sydvästlig strykning, är så täta att de inte kan leda vatten. Anledningen till detta är att bergets största huvudspänning är riktad från nordväst till sydost, det vill säga vinkelrätt mot de täta sprickorna. Dessa kläms alltså ihop av bergspänningarna. Bergspänningarna åstadkommer dessutom att de ytliga flacka sprickorna hålls öppna. Det fungerar ungefär som när man klämmer ihop en kortlek på längden: korten vill spreta isär. Det mesta av det nederbördsvatten, som infiltrerar i berggrunden, kommer härigenom att dräneras mot havet av de stora ytliga, horisontella sprickorna. Nederbörden kan bara i ytterst liten omfattning tränga ner djupare i berget.

Plattor orsakar spänningar

Bergspänningarna är således viktiga i Forsmark och även högre än genomsnittet i Sverige. Den största spänningen, på det djup där förvaret ska byggas, är nästan horisontell och har nordväst–sydostlig riktning. Bergspänningarna orsakas av komplicerade rörelser hos de stora tektoniska plattor som jordskorpan är uppbyggd av.

Vid den Mittatlantiska ryggen finns gränsen mellan den nordamerikanska och den euroasiatiska plattan. Plattorna rör sig i dag ifrån varandra. Samtidigt trycker den afrikanska plattan på söderifrån mot den euroasiatiska plattan. Trots att Forsmark ligger i en tjock och stabil urbergsplatta, ger dessa globala plattrörelser återverkningar även här.

Att det finns så få sprickor i den bergvolym som SKB undersöker i Forsmark är troligen en av orsakerna till att bergspänningarna i området är relativt höga. Detta är i sin tur ett tecken på att den tektoniska linsen inte har påverkats så mycket av rörelser i jordskorpan. Stora

Så här skulle slutförvarets ovanjordsanläggning kunna se ut i Forsmark. Bilden är ett fotomontage. Foto: SKB.

påfrestningar leder till brott i berggrunden och genom att sprickor bildas minskar spänningarna i berget.

Kombinationen av få sprickor på djupet och förhöjda bergspänningar bidrar till att berget är tätt på djupet. Det skulle därför kunna erbjuda ett framtida slutförvar med mycket goda egenskaper. Om spänningsnivåerna är alltför höga kan det leda till instabilitet när tunnlar drivs genom berget. Då gäller det att bygga på rätt sätt. Genom att orientera deponeringstunnlarna i samma riktning som den största horisontella spänningen och genom att ge tunnlarna viss geometrisk form kan man minska påfrestningarna på tunnelväggarna avsevärt.

Ovanligt vanligt berg i Laxemar

Platsundersökningarna i Oskarshamn går in i slutskedet. Peter Hultgren, geolog vid SKB:s Oskarshamnskontor är nöjd.

– Här i Laxemar finns det vanligt tråkigt berg. Precis vad vi letar efter.

Bilden av berget i de båda delområdena Simpevarp och Laxemar blir för varje dag allt tydligare. I Simpevarp är undersökningarna avslutade. Resultaten visar att berggrunden är tillräckligt säker för att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle i. Däremot är det fem kvadratkilometer stora området i minsta laget för att få tillräcklig flexibilitet vid själva byggandet.

Två bergarter dominerar

I Laxemar pågår undersökningarna och utvärderingen av säkerheten för fullt. Där, liksom i delområde Simpevarp, domineras berggrunden av bergarterna Ävrögranit och kvartsmonzodiorit. Båda bergarterna är cirka 1,8 miljarder år gamla och nära besläktade och utgör varieteter av det man i dagligt tal kallar smålandsgranit.

Till skillnad från delområde Simpevarp så är utrymmet inget problem i det tio kvadratkilometer stora delområdet Laxemar. Området begränsas av deformationszoner, till exempel i norr av den så kallade Mederhultszonen. I den norra centrala delen av Laxemarområdet förekommer även en öst-västlig deformationszon som går rakt genom området.

– Vi har lagt ner mycket krut på att undersöka de stora deformationszonerna, berättar Peter Hultgren.

– Den bild vi har fått av berget är tydlig. Vi börjar få bra kontroll på orienteringen hos de stora zonerna och hur mycket vatten de leder på förvarsdjup. Risken för att några obehagliga överraskningar ska dyka upp vid de fortsatta undersökningarna bedömer vi som liten. Hittills har alla nya borrhål i princip bekräftat den kunskap som successivt har kommit fram från de undersökningar och modelleringar, som vi hittills gjort.

Går vidare i söder

Så här på sluttampen av undersökningarna koncentreras arbetet till södra och västra delen av Laxemar. Där är berget mer likformigt, samtidigt som vattenflödena på djupet är mindre. Nu gäller det att också samla kun-

Tänkbart läge för slutförvarets ovanjordsanläggning i Laxemar. Bilden är ett fotomontage. Foto: SKB.

skap om de mindre sprickorna. Bland annat kommer de lokala sprickstrukturerna att undersökas närmare. Sprickor i berget kan vara både bra och dåliga. I ett berg med många sprickor är bergsspänningarna lägre. Då blir det lättare att bygga tunnlarna. Men sprickor kan också betyda stora vattenflöden och att man måste lägga ner mycket tid och pengar på att täta berget.

– Sprickor som är längre än 100 meter måste vi ha kläm på, eftersom sådana inte får korsa några deponeringshål, säger Peter Hultgren.

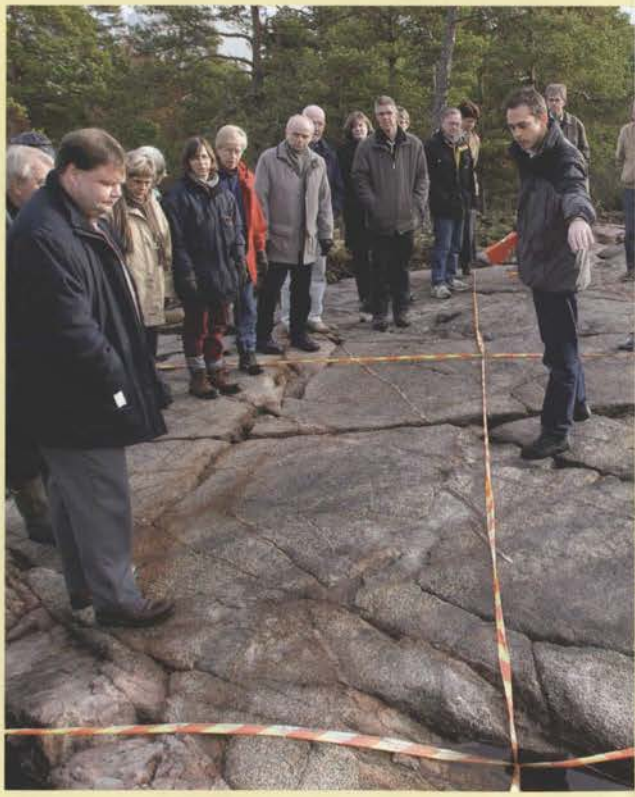
Sådana sprickor kan alltså leda till att vissa positioner för deponeringshål inte går att utnyttja, vilket i sin tur betyder att slutförvaret blir större.

En annan omständighet som gör förvaret större är att berggrunden innehåller förhållandevis liten andel av mineralet kvarts. Ett berg med låg kvartshalt leder bort värme sämre än ett berg med hög kvartshalt.

– Det innebär att kapslarna måste deponeras med större avstånd från varandra än standardavståndet sex meter, förklarar Peter Hultgren.

– Men utrymme har vi ju!

År 2007 ska alla undersökningar vara klara. Resultaten från dessa kommer att följas upp i en platsbeskrivning, en anläggningsbeskrivning samt en säkerhetsanalys. Och när SKB i slutet av 2009 lämnar in sin ansökan om att få bygga slutförvaret får vi svar på frågan om det är Laxemar som är den lämpligaste platsen för ett slutförvar.



SKB:s Peter Hultgren visar representanter för Oskarshamns kommun hur berget ska undersökas på ytan. Foto: SKB.

Asfalt

För många av oss som åker bil är vägbanan en sak som är fullständigt självklar – den bara är där. Man kör på den och ibland är den grå, ibland rödaktig. Ibland bullrar den, ibland inte. Det man oftast inte noterar är att asfalten är MER än ett svartmålat ytskikt högst upp i vägkroppen.

TEXT Erik Malmqvist

Asfalt är en del i vår infrastruktur som vi inte kan vara utan. Det är en komplicerad produkt framtagen utifrån trafikförutsättningar och rådande klimat. I praktiken är asfalt till 94 procent bestående av ballast, det vill säga naturgrus eller krossat berg, cirka fem procent är bitumen (som kommer från råolja) och en procent är tillsatsmedel, som är till för att öka beständigheten på asfaltmassan. Tillsatser kan vara fiber, för att binda upp bitumen, eller andra medel för att förbättra vidhäftningen mellan sten och bitumen.

Olika massor

Det finns en mängd olika typer av asfaltmassor. Ett asfaltverk kan ha 50-70 olika arbetsrecept för produkter. Varför finns då så många olika asfalttyper? Till att börja med så är det inte samma asfalttyp rakt igenom hela asfaltkonstruktionen utan överbyggnaden delas i tre olika lager; bärlager, bindlager och slitlager. I dessa olika lager skiljer sig kornstorleksfördelningen på stenmaterialet samt hårdheten på bindemedlet.

Bärlagret ligger underst i asfaltöverbyggnaden och är tänkt att kunna ta upp laster från trafiken som åker uppe på vägen. Detta lager bör med andra ord vara stabilt. Bindlagret, som ligger ovanpå bärlagret, är till för att fördela lasterna över en större yta så att inte hela lasten blir koncentrerad till en punkt. Detta kräver att även detta lager är stabilt. Slitlagret, som vi kör på och det vi ser när vi åker bil, är egentligen endast till för att tåla nötning samt att vara så pass tätt att inte vatten kommer ner i konstruktionen. Slitlagrets kvalitet är till stor del beroende av vilket stenmaterial man använder sig av.

Stenmaterialets betydelse

Den stora produktionen av asfalt sker vid permanenta fabriker. I de allra flesta fall är dessa placerade i en bergtäkt eller en naturgrustäkt (den senare är ett undantag idag). Det är inte alltid så att det i täkten kan tas fram material som uppfyller de hårda krav som ställs på vägar med höga trafikmängder. Vilket kan innebära att befintligt stenmaterial får kompletteras med högkvalitativt stenmaterial från annat håll. De kvalitetsparametrar som är viktiga för ballast till vägbeläggningar är ballastens nötningsresistens, sprödhet samt flisighet. En ytterligare parameter som man bör beakta är materialets förmåga att attrahera bitumen (vidhäftningsförmåga). Faktorer som nötningsresistens och flisighet kan till viss del styras i produktion genom att man ändrar inställningar i krossutrustningen. Ett bra material som krossas fel kan dock bli flisigt och därmed även förlora sin nötningstålighet.

Bitumen

Bitumen används i asfalt som klister, det vill säga bitumenet håller ihop stenmaterialet så att det blir en asfaltbeläggning. Bitumen klassificeras efter hårdhet. Vid olika trafikförhållanden och klimat används olika hårdheter. Till exempel kan det vara mycket olämpligt att använda sig av ett mjukt bitumen på en containeruppställningsplats i hamnen, det ger omgående allvarliga deformationsproblem. På vägar eller industriområden med mycket tung trafik modifieras bindemedlet med polymerer, för att skapa en mindre temperaturkänslig asfaltbeläggning med högre styvhetsmodul som gör att beläggningen blir stabilare och därmed får ökad livslängd.

Tyst(are) asfalt

Det bedrivs en ganska omfattande forskning inom området asfaltbeläggningar. Utvecklingen handlar delvis om att förbättra kvaliteten för att möta de ökande trafikmängderna.

Ett av områdena som de flesta säkert har uppmärksammat är de så kallade lågbullrande eller tysta

VÄGAR Cirka en procent av Sveriges yta består av vägar. Statliga vägar utgör 100 000 kilometer, kommunala vägar 40 000 kilometer och enskilda vägar 28 000 kilometer.

ASFALT De senaste åren har fem till sju miljoner ton asfalt per år tillverkats och lagts ut på vägnätet.

beläggningarna. En lågbullrande beläggning är en asfaltbeläggning med en mycket hög luftporhalt (eller hålrumshalt), cirka 25 procent. En konventionell slitlagerbelägning brukar ha en hålrumshalt mellan 1,5 – 5 procent. Bullret från bilarna på en lågbullrande beläggning har därmed möjlighet att försvinna ner i asfaltbeläggningen istället för att studsa upp och bort från vägbanan. Anledningen till att dessa beläggningar har blivit så intressanta är att det nu finns ett alternativ till bullerplank och treglasfönster. Nu är ju inte allt frid och fröjd bara för att branschen har tagit fram en beläggning som kan absorbera ljud. Dessa beläggningar med höga hålrumshalter är inte så livskraftiga som man kanske skulle önska. De höga luftporhalterna medför att porerna sätts igen av vägdamm och annan smuts som kommer från vägen och dess omgivningar vilket reducerar den bullerdämpande effekten. Parallellt utvecklas även tekniken för att göra beläggningen stabil och nötningstålig. En stabil beläggning är svår att tillverka då man är tvungen att ha ett högt hålrum. En lösning är att använda sig av polymermodifierade bindemedel som ger en elastisk och mindre temperaturkänslig asfaltbeläggning.

Beständighet

Beständigheten hos asfaltbeläggningar är till stor del beroende av vidhäftningen mellan sten och bitumen. Detta är ganska elementära saker inom asfaltindustrin, då hela konceptet bygger på att stenen ska limmas ihop av bitumenet.

För att en asfaltbeläggning ska vara hållbar under många år krävs det först och främst att stenmaterialet sitter fast i bitumenet. Då vi oftast arbetar med sura bergarter som granit, kvartsit och porfyr kan det vara svårt att uppnå en god vidhäftning då bitumenet också är en sur produkt. Detta problem kan lösas på ett par olika sätt genom att använda sig av olika typer av tillsatsmedel. Generellt finns det två olika typer av tillsatser. Valet är delvis en produktionsteknisk fråga. Den ena typen är flytande och är ett amin. Denna typ är den enklaste ur produktionssynpunkt då du tillsätter cirka 0,3 procent till ditt bitumen innan du blandar asfalten. Nackdelen med amin är att det inte har så lång livslängd utan bryts ner med tiden.

Den andra varianten är ett aktivt fillermaterial som cement eller släckt kalk. Här krävs investeringar i en ganska avancerad anläggning för förvaring och tillsättningen av fillren i asfaltverket. Fördelen med aktiv filler är de skapar en basisk miljö på stenytorna varvid vidhäftningen förbättras. Aktiva filler har även en längre livslängd än aminer.

ERIK MALMQVIST är berggrundsgeolog och forsknings- och utvecklingschef på PEAB Asfalt AB i Stockholm.

Till vänster: Sten och bitumen. Till höger: Arbete med att lägga asfalt. Sunningebron utanför Uddevalla byggdes 2000 av Skanska.

Hur man kan använda legeringar av metall för att förstå bergarter och tvärtom

Grundforskningen har en viktigt roll i samhället. I denna artikel presenteras forskning kring bergarter och legeringar av metaller – de båda "materialen" kan betraktas som bröder och systrar, ty de är väldigt lika varandra – men ändå olika. Om man känner till likheterna kan man dock identifiera flera problem som går att lösa med hjälp av analogin.

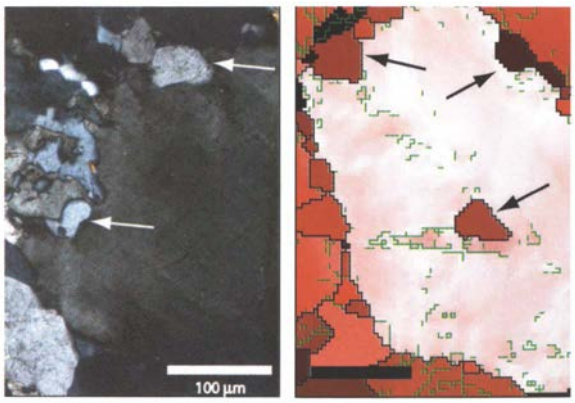
TEXT / BILD Sandra Piazolo

Både bergarter och legeringar av metaller hör till familjen kristallina material vilket betyder att deras byggstenar är kristaller. Trots att de är nära besläktade skiljer sig den kemiska sammansättningen en hel del. De flesta bergarter som vi ser på jordens yta har en hög andel kvarts (SiO_2) och fältspat, medan exempelvis stållegeringar framförallt består av grundämnena järn (Fe), magnesium (Mg), svavel (S) och kol (C) i kombination med syre (O).

Ja, industriella material, som stål, och bergarter har genomgått ett komplicerat "liv". Båda har kristalliserat från en smälta, deformerats upprepade gånger vid olika temperaturer, svalnat, hettats upp igen och kanske deformerats ytterligare en gång. När vi tittar på dem i mikroskop uppvisar både metaller och bergarter väldigt lika drag. Till exempel ser vi stora kristaller med inre deformation och små kristaller med väldigt lite deformation (fig. 1). Likheterna beror på att de bakomliggande fysikaliska och kemiska processerna som svarar mot upphettning, avsvalning och deformation, i grund och botten är de samma. Detta är ett faktum som ger oss möjligheten att studera hur ett syskon uppför sig genom att titta på det andra syskonets beteende.

Bergarters bildning - tid och temperatur kan "modelleras" med hjälp av metaller

En bergarts historia kännetecknas av mycket höga temperaturer och tryck samt väldigt lång tid, upp till 3,8 miljarder år. Det betecknande hos en bergart, till exempel den intressanta och vackra fördelningen av vita (fältspat), grå (kvarts), rosa (kalifältspat) och svarta (biotit) mineral i en byggnadssten, är en produkt av miljoner (eller till och med miljarder) år lång historia under vilken sammansättningen och distributionen av mineral ändrats markant. När vi plockar upp en sten från dagens jordyta så ser vi endast *resultatet* av



Figur 1(a) till vänster: tunnslipsfoto av en deformerad metapsammit från centrala Dronning Maud land, Antarktis (korsade nicoller). De små kornen är i stort sett odeformerade. 1(b) till höger: EBSD-karta (se faktarutan på sida 20 för förklaring) av en deformerad magensium(Mg)-legering. Olika röda toner representerar olika kristallografisk orientering (skalstreck motsvarar 200 µm). Pilarna pekar på små korn inneslutna i ett större korn med markant deformerat kristallgitter som man se på grund av små variationer av grå /röda toner.

Figur 2 (a) Svepelektronmikroskop (SEM, Liverpool University) (b) Anordning för upphettning som kan placeras i SEM
En liknande experimentuppställning är för närvarande under konstruktion vid Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet.

IN-SITU EXPERIMENT MED SAMTIDIG ANALYS AV KRISTALLOGRAFISK ORIENTERING

Experiment utförs i ett specialiserat svepelektronmikroskop (SEM) (fig. 2a).
De här experimenten kombinerar in-situ upphettningsexperiment i en SEM (fig. 2b) med en samtidig kvantitativ (Electron Backscatter Diffraction (EBSD)) analys av kristallegenskaperna (information om kornmorfologi, orientering i tre dimensioner och gränser) samt kemin hos olika bergartsmaterial och material som tros vara jämförbara med bergartsmaterial (till exempel metaller). I de här experimenten kan forskaren "se" och kvantitativt karakterisera förändringarna i materialet under lång upphettning. Dessa dynamiska observationer av aktiva mikroskaliga processer möjliggör kvantitativ fastställning av influensen av olika parametrar i upphettningsprocesserna och mekanismerna – genom vilka mikrostrukturerna, och därmed materialets egenskaper – modifieras under de senare stegen av en bergarts historia.

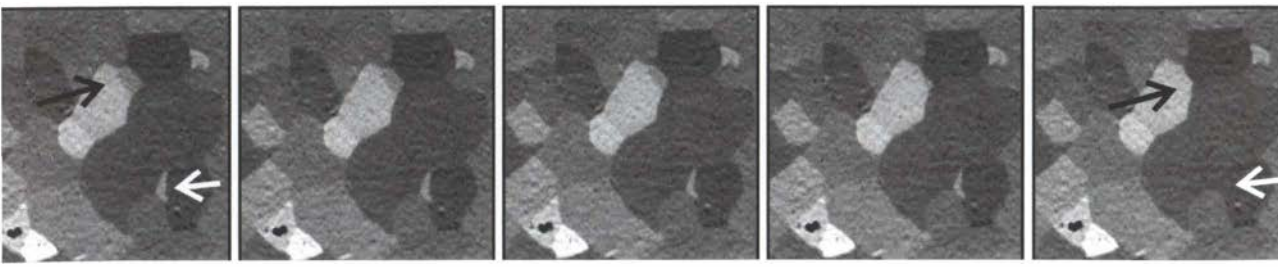
dess långa historia. För att dechiffrera bergartens historia så måste vi förstå de involverade processerna. Problemet är att vi endast har slutprodukten av en hel serie processer att titta på. Trots att vi kan utföra experiment vid de temperaturer och tryck som råder i jordens inre, så kan vi inte observera förändringarna i den riktiga tidsskalan (till exempel >10 000 år). Vi måste därför utföra experiment vid orealistiska förhållanden för att få förändringar att inträffa i mänsklig tidsskala (timmar eller veckor). På grund av tekniska begränsningar kan vi dessutom bara analysera startmaterialet och slutprodukten utan att faktiskt kunna "se" processerna verka i materialet.

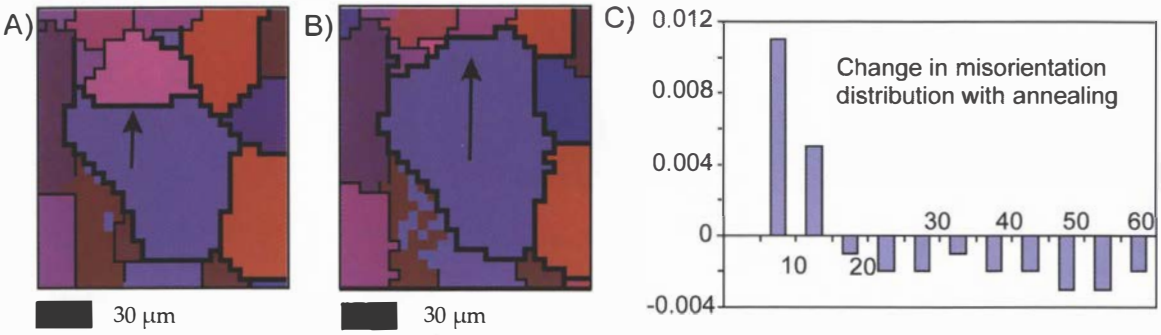
Det är här som experiment med legeringar av metall kan hjälpa till eftersom de reagerar på deformation och upphettning mycket fortare än mineral. Därför är det möjligt att genomföra experiment i realtid. Dessutom, eftersom de experimentella förhållandena som krävs är tekniskt lätta att uppnå, så kan vi designa experiment där vi direkt kan observera förändringarna i mikrostrukturerna, det vill säga se processerna verka i materialet.

Metaller - flerfaslegeringar kan studeras med hjälp av geologiska verktyg

Människan har använt metaller i tusentals år. Traditionellt har "receptet" för hur ett starkt och motståndskraftigt stål ska produceras, utvecklats

Figur 3. Tidsserier av orienteringskontrastbilder från experimentet med upphettat nickel (Ni)-folie. Bilderna är tagna med ett tidsintervall av fyra minuter, bildens bredd motsvarar 220 µm. Vit och svart pil: Små korn försvinner under korngränsförflyttning. Observera att andra korngränser inte rör sig under det visade tidsintervallet (modifierat efter Piazolo et al., 2004a).





Figur 4. Korntillväxt i nickel (Ni)-folie: A) före upphettning och B) efter upphettning. Olika färger representerar olika kristallografiska orienteringar, tjock linje: korngränser >10°, tunn linje: 3-10°. Svart pil pekar på ett korn som konsumeras genom snabb förflyttning av en korngräns med stor vinkel. C) Graf som illustrerar förändringen i den relativa frekvensen (y-axel) av korngränser med specifik misorientering (x-axel) beräknat från värden före och efter upphettning (modifierad efter Piazolo et al., 2004b).

under hundratals år och kunskaperna fördes vidare från generation till generation. Först under det senaste århundradet har systematisk forskning bedrivits om hur man producerar en metall med specifika egenskaper. Nuförtiden är det stor efterfrågan på material med speciella egenskaper, egenskaper som inte uppfylls av "traditionella" material. Som en konsekvens av det måste vi utvidga vår kunskap om metaller från i huvudsak en- eller tvåfaslegeringar till flerfaslegeringar eftersom dessa ger löfte om att uppfylla våra ökande krav på deras egenskaper. Materialets komplexitet ökar exponentiellt med varje fas.

Här kan geologi vara till avsevärd hjälp eftersom man inom geologin ända från början varit tvungna att tackla multifasmaterial. Inom geologin har alltså en stor mängd verktyg och analystekniker utvecklats som, åtminstone delvis kan , tackla de utmaningar som ett multifasmaterial utgör.

Några exempel på geologiska processer som kan studeras med hjälp av legeringar av metall

Förmågan att på ett korrekt sätt "läsa" en bergarts historia beror ytterst på geologens kunskaper om vilka egenskaper som hör till specifika delar av bergartens historia. I många fall är geologen intresserad av vad som hände bergarten då den deformerades på ett djup av flera kilometer. Men eftersom prov tas från jordens yta kan bergarten ha blivit termiskt förändrad, ofta över en lång tidsperiod efter den huvudsakliga deformationshändelsen. Geologen *måste* därför kunna skilja mellan särdrag som beror på bergartens termiska förändring, det vill säga upphettning över en lång tid, från dem som kännetecknar dess deformationsepisoder. Därför måste geologen förstå exakt hur olika processer ändrar en bergarts egenskaper.

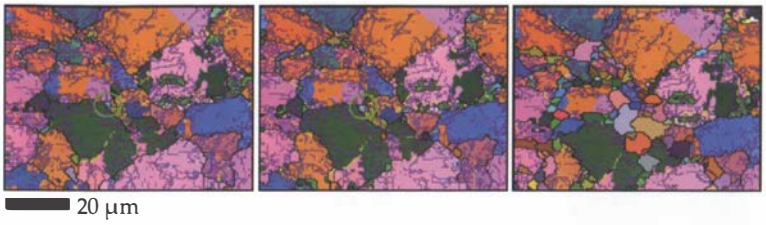
För att förbättra de kunskaperna kan vi börja med att titta på det enkla fallet då en bergart som inte har genomgått någon betydande deformation, utsätts för upphettning. I det här fallet kan vi fråga oss: A – Hur förändras mikrostrukturernas utmärkande drag i en relativt odeformerad bergart då den upphettas under lång tid?

Vi kanske även vill titta på ett mer komplicerat fall där bergarten först har blivit deformerad och sedan upphettad. Här kan följande fråga ställas: B – Hur förändras mikrostrukturernas utmärkande drag i en för-deformerad bergart då den upphettas under lång tid? Låt oss nu titta på hur metaller kan hjälpa oss att svara på de här frågorna.

A - Hur förändras mikrostrukturernas utmärkande drag i en relativt odeformerad bergart då den upphettas under lång tid?

Ett naturligt system strävar alltid efter att nå den lägsta fria energinivån. Det här gäller även för bergarter och metaller. I fallet med ett odeformerat kristallint material betyder det här att systemet försöker att reducera energin per area/volym i korngränserna. Därför kommer systemets mål vara att öka kornstorleken genom korntillväxt. För att kunna svara på frågan måste vi alltså förstå i detalj hur kristallerna tillväxer då de upphettas under lång tid.

Låt oss titta på hur korn tillväxer i legeringar av metall med hjälp av in-situ experiment med samtidig analys av kristallografisk orientering (se faktarutan sida 20). Figur 3 visar en fotosekvens som åskådliggör hur en nickel(Ni)-tape utvecklas under upphettning, medan figur 4a och b visar två steg under upphettning där ett korn konsumerar ett annat korn. Experiment visar att korntillväxt karakteriseras av (a) försvinnandet av korn och (b) relativ ökning av korngräns som har liten skillnad i vinkel i kristallografisk orientering mellan intilliggande korn (misorientering). De försvinnande kornen är (a) i första hand omgivna av gränser med stora vinklar (över 10°-misorientering mellan intilliggande korn) och (b) byts vanligtvis ut mot i huvudsak ett annat korn. Data över korngränsernas relativa frekvens visar att andelen gränser med låg misorientering minskar med tiden för upphettning (fig 5c).



Figur 5. "Nya" korn uppträder och växer vid korngränserna hos gamla deformerade korn (som har många gränser med låg vinkelmisorientering) i en för-deformerad magensium(Mg)-legering som upphettas. Grön cirkel visar små korn som utvecklas till ett nytt korn utan substrukturer. Från vänster till höger visas successiva kartor tagna under upphettning av ett prov som för-deformerats vid 200°C. Tidsintervall mellan kartorna: åtta minuter. EBSD-kartornas färger representerar kristallografiska orienteringar: korngränsfärger: lila >2°, blått >5°, gult >10°, svart >15° misorientering mellan intilliggande korn.

B – Hur ändras mikrostrukturernas utmärkande drag i en för-deformerad bergart då den upphettas under lång tid?

Återigen kan vi betrakta ett systems behov att reducera sin fria energi. Men nu måste vi, förutom korngränsernas energi, även betrakta energin som tillfördes systemet i deformationshändelsen. Under deformation omformas kristallerna och energin lagras som deformationsenergi i form av ett deformerat kristallgitter. Så, exakt hur reducerar systemet sin energi? Vilka processer är involverade?

Ännu en gång tittar vi på metaller. I det här fallet undersöker vi effekten av upphettning under lång tid, genom att utföra upphettningsexperiment in-situ i en SEM, på en för-deformerad magnesium(Mg)-legering (Mg har visat sig fungera på liknande sätt som fältspat). Experiment utfördes med prov som var för-deformerade vid olika temperaturer, vilka sedan upphettades statiskt.

De första resultaten från experimenten visar att vi kan förvänta oss en tillväxt av "nya" korn som är fria från substrukturer (utan någon större deformation i kristallgittret) i upphettade för-deformerade prov. De deformerade kornens totala area minskar och de "nya" kornen växer. Dessa "nya" korn, fria från substrukturer
(1) utvecklas på gränsen av stora, starkt deformerade korn i prov som deformerats vid låg temperatur (fig. 5).
(2) Växer i finkorniga områden i prov som deformerats vid medelhög temperatur (fig. 6).
(3) Växer längs korn och tvillinggränser med liten vinkel mellan intilliggande korn (fig. 7)

En titt in i framtiden

Allteftersom kraven på forskarna och deras produkter ökar, inser vetenskapsmän från båda ämnesområdena den potentiella "hjälpen" från det andra syskonet.
I den andan har nyligen flera internationella tvärvetenskapliga experimentella och teoretiska projekt startats, ett exempel är EU Marie Curie Summer School Knowledge Based Materials (EU Marie Curie sommarkurs om vetenskapsgrundade material läs mer på internet: http://materialsknowledge.org) och en workshop kallad GeoMat2005 "*From Earth Sciences to Materials Engineering - Interdisciplinary Symposium on Microstructure Simulations of Crystalline Matter* (översättning: Från naturvetenskaper till materialvetenskap – tvärvetenskapligt symposium om simulering av kristallina material). Behovet av att se över gränserna kommer förvisso att öka under nästa årtionde.

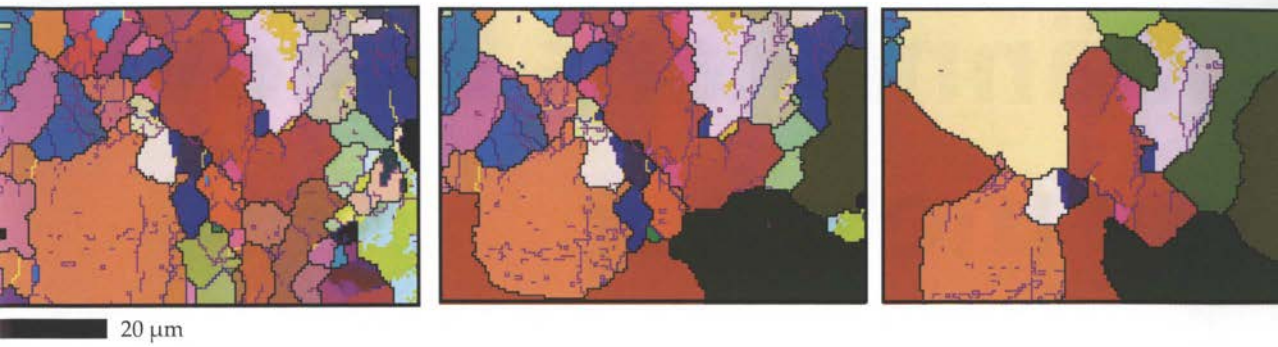
P.S Stort tack till Helena Bergman för översättning och hjälpsamma kommentarer.

SANDRA PIAZOLO är docent vid Institutionen för geologi och geokemi vid Stockholms universitet.

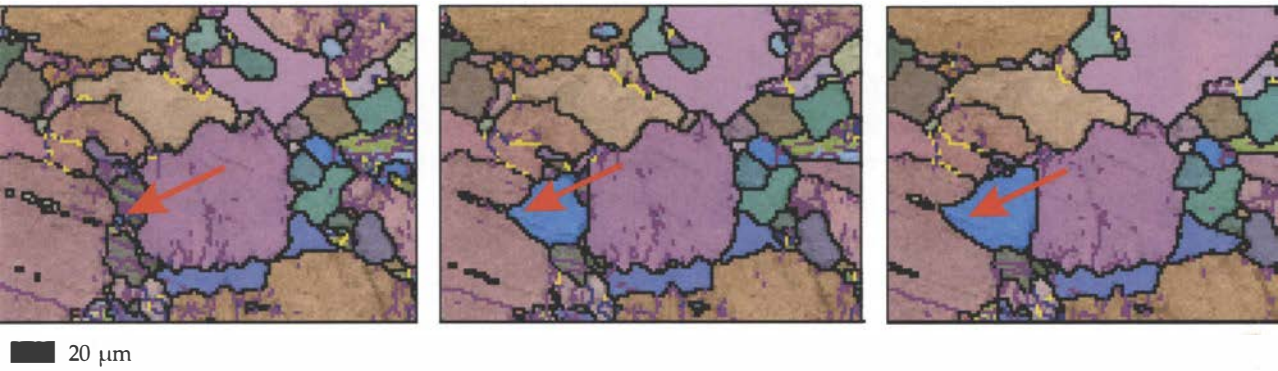
REFERENSER

S. Piazolo, M. W. Jessell, D. J. Prior, P. D Bons (2004a) The integration of experimental in-situ EBSD observations and numerical simulations: a novel technique of microstructural process analysis. *Journal of Microscopy*, 213, 273-284.

S. Piazolo, G. Seward, N. Seaton, D. J. Prior (2004b) The potential of combined in-situ heating experiments and detailed EBSD analysis in the investigation of grain scale processes such as recrystallization and phase transformation. *Materials Science Forum*, 467-470, 1407-1412.



Figur 6. "Nya" korn växer i finkorniga områden i den här för-deformerade Mg-legeringen när den upphettas. De nya kornen känns igen på grund av frånvaron av interna substrukturer. Från vänster till höger visas successiva kartor tagna under upphettning av ett prov som deformerats vid 370°C. EBSD-kartans färgschema enligt fig. 5. Tidsintervall mellan kartorna: 14 min.



Figur 7. "Nya" korn växer längs substrukturer/tvillinggränser i en för-deformerad och därefter upphettad Mg-legering. Från vänster till höger visas successiva kartor tagna under upphettning av ett prov deformerat vid 300°C. EBSD-kartans färgschema enligt fig. 5. Röd pil pekar på ett nytt korn (blått) och dess tillväxt längs en tvilling. Tidsintervall mellan kartorna: 14 minuter.

Människans behov av metaller

Med undantag för några få naturfolk som fortfarande lever avskilda från det moderna samhället kan man med fog säga att dagens människor mer eller mindre helt är beroende av utvinning av metaller, mineral, energiråvaror (kol, olja, gas) och ballastmaterial (grus, sand, makadam).

Trots detta är det få verksamheter som har fått utstå så hård kritik under senare år som gruvindustrin. Ibland har kritiken varit befogad, men oftare har den varit felaktig och tendentiös och utpekat gruvindustrin som jordens miljöskurkar nummer ett.

I denna artikel hoppas jag att nyansera bilden av den råvaruproducerande industrin något och att var och en, efter att ha läst artikeln, begrundar sin egen inställning till råvaruutvinning och hur man ur ett hållbarhetsperspektiv kan se på människans behov av metaller.

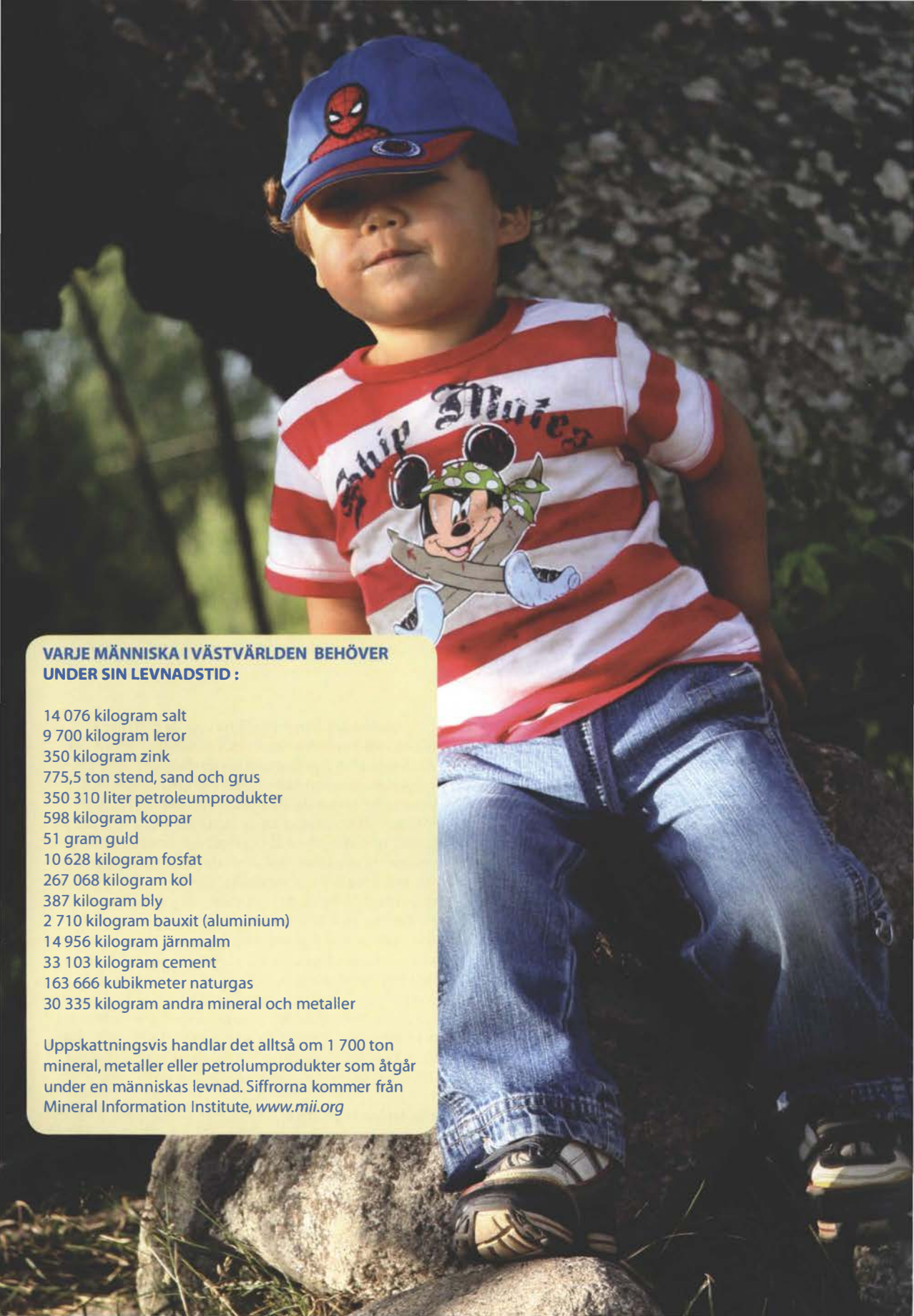
TEXT / FOTO Pär Weihed

Få människor idag har kunskap om hur olika saker produceras och vilket ursprung olika produkter har. Det mest påtagliga är kanske inom livsmedelsområdet där få människor i dagens urbaniserade samhälle har kontakt med landsbygden och jordbruket i vardagen – och kanske inte ens vet varifrån olika livsmedel härstammar. Inte heller kommer dagens varken vuxna eller unga i kontakt med tidiga led i råvaruförsörjningen som gruvor, grustag och stenbrott, förutom när de läser om dessa fenomen i dagstidningar eller ser något inslag i TV.

Men till och med själva förutsättningen för mänskligt liv – är att kroppen tillförs en lång rad grundämnen – inklusive metaller! Detta är en känslig balans och om kroppen får för lite av vissa viktiga metaller uppstår bristsjukdomar och om kroppen får för mycket kan man bli förgiftad. Geologins betydelse för det mänskliga välmåendet, medicinsk geologi, är nu ett hett forskningsområde som har behandlats tidigare i Geologiskt Forum (nr 45, mars 2005) av Olle Selinus.

Dessutom är det ett faktum att människan i det dagliga livet använder sig av metaller under dygnets alla 24 timmar. Vad de flesta dock inte inser är hur oerhört beroende vi som människor är av metaller och mineral i vårt dagliga liv. I faktarutan på nästa sida visas vad en genomsnittlig människa i västvärlden använder sig av under sin livstid fördelat på några vanliga metaller och andra vanliga råvaror. Om ni multiplicerar behovet av varje metall och mineral med 6 000 000 000 (sex miljarder) så får ni det globala livscykelbehovet (räknat i västvärldens konsumtion) för dessa metaller och andra råvaror. Detta blir så klart astronomiska siffror!

En annan förutsättning för det moderna samhället är transporter av olika slag. För västvärldens människor har bilen under det senaste seklet utvecklats från att i början ha varit en statussymbol till att idag vara ett absolut nödvändigt transportmedel. I tabell 1 har jag listat de vanligaste metaller som finns i en bil. Tabellen innehåller 16 metaller (grundämnen) och dessa måste alla utvinnas i gruvor eller återanvändas från skrot. Med tanke på att varje producerad bil väger drygt ett ton och att det produceras över 40 miljoner bilar per år blir det återigen enorma mängder metaller som behövs för att förse världen med nya bilar – varje år.



VARJE MÄNNISKA I VÄSTVÄRLDEN BEHÖVER UNDER SIN LEVNADSTID :

14 076 kilogram salt
9 700 kilogram leror
350 kilogram zink
775,5 ton stend, sand och grus
350 310 liter petroleumprodukter
598 kilogram koppar
51 gram guld
10 628 kilogram fosfat
267 068 kilogram kol
387 kilogram bly
2 710 kilogram bauxit (aluminium)
14 956 kilogram järnmalm
33 103 kilogram cement
163 666 kubikmeter naturgas
30 335 kilogram andra mineral och metaller

Uppskattningsvis handlar det alltså om 1 700 ton mineral, metaller eller petrolumprodukter som åtgår under en människas levnad. Siffrorna kommer från Mineral Information Institute, *www.mii.org*

Aitikgruvan nära Gällivare är en av Europas största koppargruvor. Här producerar det svenska gruvbolaget Boliden årligen nära 20 miljoner ton malm.

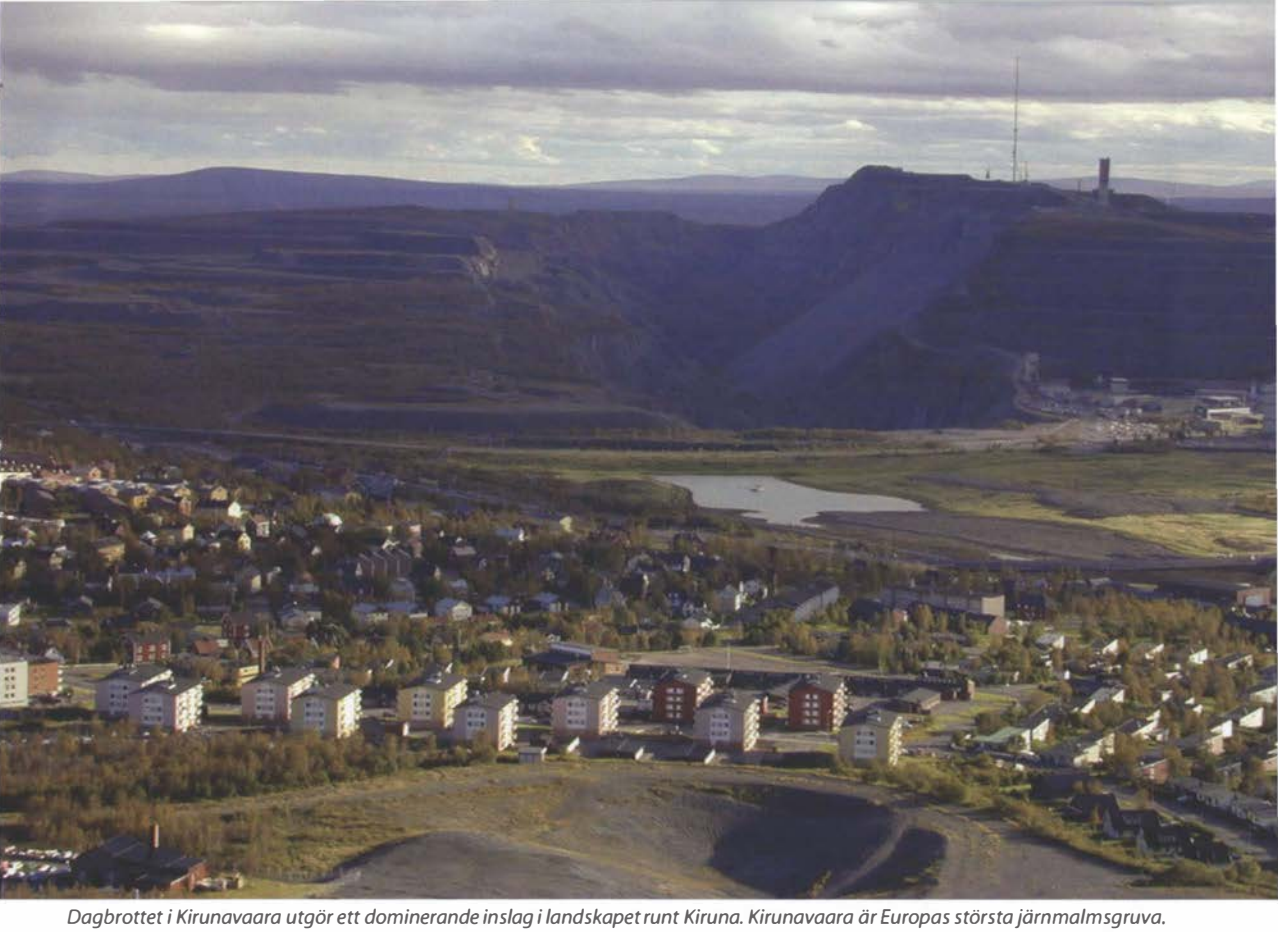
*Tabell 1: De vanligast förekommande metallerna i en bil *.*

Grundämne	Beteckning	Bildel och metallvikt i kg
Järn	Fe	Kaross (1000)
Aluminium	Al	Kaross (120)
Kol	C	Stål mm (25)
Koppar	Cu	Elektriska kablar, kylare (20)
Kisel	Si	Glas (20)
Bly	Pb	Batteri (10)
Zink	Zn	Rostskydd (10)
Mangan	Mn	Stållegering (8)
Krom	Cr	Kromdetaljer (7)
Nickel	Ni	Plating, rostfritt stål (4)
Magnesium	Mn	Aluminiumlegering (2)
Svavel	S	Stål (1)
Molybden	Mo	Motorsmörjning, stål (0,5)
Vanadin	V	Stål (0,5)
Fosfor	P	>0,5
Niob	Nb	Höghållfasthetsstål (>0,2)

** I mindre mängder finns även antimon, arsenik, bor, barium, gallium, germanium, guld, kadmium, kalcium, kobolt, litium, natrium, palladium, platina, silver, strontium, titan, tenn, wolfram och zirkonium.*

På samma sätt kan man räkna upp de metaller som vi alla mer eller mindre omedvetet använder i andra sammanhang. USA:s geologiska undersökning (USGS) gjorde nyligen en sammanställning på vad som användes i form av metaller under de olympiska vinterspelen i Turin. Förutom att konstatera att de flesta tävlingar ägt rum på kristallint vatten, det vill säga snö och is, vilka tillverkats artificiellt i maskiner gjorda av aluminium, koppar, järn och andra metaller så innehåller den olympiska facklan aluminium, koppar, stål och värmetåliga polymerer, medaljerna som delades ut består verkligen av guld, silver och brons (legering av koppar och tenn), men eftersom guld och silver i gedigen form är mjukt så legeras de med kadmium, koppar, indium, kisel, tenn och zink. De flesta vanliga sporter är också helt beroende av metaller och andra geologiska råvaror, se tabell 2. Förutom detta så krävdes metaller och byggnadsmaterial för den olympiska byn, för transporter och för datakommunikation. Det vill säga utan metaller – inga olympiska spel.

Alla, inklusive politiker och andra beslutsfattare, som använder bilar, tåg, flyg, tunnelbana, smycken, datorer, TV-apparater, stereoanläggningar etc. borde ägna en tanke åt varifrån råvarorna kommer och vad vi skulle göra om inte dessa kunde produceras. Västeuropa (EU) utvinner tre procent av de metaller som världen konsumerar per år. Samtidigt konsumerar Västeuropa (EU) över 20



Dagbrottet i Kirunavaara utgör ett dominerande inslag i landskapet runt Kiruna. Kirunavaara är Europas största järnmalmsgruva. Sverige (läs LKAB) är Europas helt dominerande producent av järnmalm.

procent av det som utvinns. Denna statistiska obalans för Europa är unik och innebär, enkelt uttryckt, att Europa ur ett råvaruperspektiv inte tar ansvar för en hållbar utveckling. Västeuropas befolkning utgör dessutom endast cirka sex-sju procent av jordens befolkning. En ur råvarusynpunkt hållbar samhällsutveckling bör naturligtvis eftersträva största möjliga balans mellan produktion och konsumtion och sett ur det perspektivet är Västeuropa (EU) sämst i världen! Detta går att ändra endast genom att minska konsumtionen eller öka produktionen. Eftersom metaller betraktas som en icke förnyelsebar råvara (vilket i sig är en felaktig uppfattning, se nedan) så kan man ju tycka att en minskning av konsumtionen, alternativa förnyelsebara råvaror och återanvändning vore de naturliga vägarna för att få en balans i resursutnyttjandet. Men är en minskning av konsumtionen realistisk? Knappast!

Enligt demografiska beräkningar kommer världens befolkning att fördubblas på kanske 60–70 års sikt och ungefär år 2070 kommer vi spränga tiomiljarderstrecket. En fördubbling av befolkningen innebär också en fördubbling av den totala konsumtionen om vi räknar med att världen nöjer sig med samma levnadsstandard som idag, det vill säga att människan i exempelt på sidan 25, inte ökar sin konsumtion. Eftersom vi alla vill att utvecklingsländer ska få en högre levnadsstandard och inga opinionsmätningar tyder på av vi i världens industriländer avser att sänka vår standard från dagens, innebär detta att konsumtionen av råvaror sannolikt kommer att öka procentuellt åtminstone i takt med befolkningens ökning.

Forskningen kring ersättningsmaterial och återanvändning av metaller är idag omfattande. Stora framsteg har gjorts under de senaste decennierna, och ersättningsmaterial (keramer och plaster i huvudsak) har gjort att vissa metaller minskat i betydelse. Ytterligare andra metaller fasas mer eller mindre ut, som till exempel bly vilket i stor utsträckning använts som tillsatsmedel i bensin (och i batterier). Återanvändning sker i dag i stor skala för många metaller medan andra på grund av sina egenskaper inte är lika enkla att återanvända. Trots detta pekar kurvorna för gruvproduktion för i stort sett alla metaller nästan exponentiellt uppåt. Med undantag för spekulationsmetaller som till exempel guld och platina, vilka båda också har stor industriell användning, är produktionen i princip direkt styrd av efterfrågan.

Under perioden år 1950 till 2000 har världsproduktionen av koppar ökat med över 400 procent, zink med nästan 400 procent, bly med 75 procent, nickel med 700 procent, järnmalm med 300 procent och guld med 150 procent (tabell 3) . Det finns alltså inga som helst tecken på att behovet av metaller skulle minska. Med ett ökat befolkningstryck ökar också behoven av metaller. I tabell 4 redovisas kända reserver och hypotetiska globala till-

Tabell 2: Några OS-sporters användning av metaller (data från USGS).

Sport	Utrustning	Innehåll i form av metaller och mineral/bergart
Curling	Curlingsten	Granit med plasthandtag ditsatt med stålbult; bulthål klätt med mässing (koppar och zink).
Ishockey	Skridsko	Förkromad kolstålsskena.
	Klubba	Aluminum, kolfiberskaft och blad.
	Puck	Vulkaniserad gummitrissa. (Svavel används för att tillverka gummit)
	Ansiktsmask	Rostfritt stål, ibland med kromlegering.
Skidåkning/ snowboard	Skida	Aluminum, titan, kolfibrer och borfiberbas; balansvikt av wolframlegering.
	Sko	Avancerade keramer (piezoelektriska keramikfiberkompositer: aluminumoxid, lera, hydroxyapatit, bly, zircontitanat, litium, kisel, kiselkarbid, tennoxid, titandioxid, yttrium-stabiliserad zircon, zirconium-diborid, och stål.
	Stav	Aluminumskaft; wolframkarbidspets.
Skidskytte	Gevär	Nitrid-stål eller pipa av rostfritt stål.

Tabell 3: Produktion av vanliga metaller år 1950 respektive år 2000.

PRODUKTION	ÅR 1950 (ton)	ÅR 2000 (ton)	ÖKNING I PROCENT
Koppar	2 500 000	13 500 000	> 400
Zink	2 000 000	9 500 000	cirka 400
Bly	2 000 000	3 500 000	75
Nickel	150 000	1 200 000	cirka 700
Järnmalm	250 000 000	1 000 000 000	300
Guld	1 000	2 600	150

Tabell 4: Förväntad livslängd för kända reserver av vanliga metaller.

Metall	Kända reserver[1] 1999 (ton)	Totala resurser[2] (ton)	1997–99 genomsnittlig årlig produktion (ton)	Förväntad livslängd, **totala resurser**, i år tillväxttakt produktion 0%	2%	Förväntad livslängd, **kända reserver**, i år tillväxttakt produktion 0%	2%	Genomsnittlig tillväxttakt i produktion 1975–99 (%)
Aluminium	25×10^9	$2{,}0 \times 10^{18}$	123 700 000	$89{,}3 \times 10^9$	1065	202	81	2.9
Koppar	340×10^6	$1{,}5 \times 10^{15}$	12 100 000	$124{,}3 \times 10^6$	736	28	22	3.4
Järn	74×10^{12}	$1{,}4 \times 10^{18}$	559 500 000	$2{,}5 \times 10^9$	886	132	65	0.5
Bly	64×10^6	$2{,}9 \times 10^{10}$	3 070 000	$9{,}4 \times 10^6$	607	21	17	–0.5
Nickel	46×10^6	$2{,}1 \times 10^{12}$	1 133 300	$1{,}8 \times 10^6$	526	41	30	1.6
Silver	280×10^3	$1{,}8 \times 10^{12}$	16 100	$111{,}8 \times 10^6$	731	17	15	3.0
Tenn	8×10^6	$40{,}8 \times 10^{12}$	207 700	$196{,}5 \times 10^6$	759	37	28	–0.5
Zink	190×10^6	$2{,}2 \times 10^{15}$	7 753 300	$283{,}7 \times 10^6$	778	25	20	1.9

1) Kända tillgångar av metaller år 1999
2) Totalt innehåll av metaller i jordskorpan

from MMSD BREAKING NEW GROUND (2002)

Dagbrottet i guldgruvan Björkdal utanför Skellefteå är ett exempel på att prospektering efter ädelmetaller under de senaste 20 åren i Sverige ger resultat i gruvverksamhet och skapar sysselsättning i glesbefolkade regioner i framför allt norra Sverige.

gångar av våra vanligaste metaller. Enligt flera experter kommer tillväxten framgent att bromsas något på grund av ökad återanvändning och en realistisk tillväxttakt för de flesta metaller ligger runt en procent per år. Detta innebär att de kända tillgångarna (1999) för de flesta metaller förbrukas inom 15 till 150 år. Detta i sin tur innebär att vi måste bibehålla eller öka prospekteringen efter nya fyndigheter samtidigt som miljökraven för verksamheten ökar. Troligtvis kommer också kraven på så kallad livscykelmanagement (LCM) att öka vilket i princip innebär att slutanvändaren av metaller också ska ta ansvar för att råvaror producerats (både prospektering och gruvdrift) på ett miljömässigt acceptabelt sätt. Slutsatsen blir alltså att om Europa och EU ska vara trovärdiga i sin strävan att leda världen mot en hållbar utveckling (eng. sustainable development) måste man också i mycket högre grad än nu ta ansvar för sin egen konsumtion och i förlängningen säkerställa sin egen produktion.

Sverige klarar sig med detta resonemang betydligt bättre än de flesta andra länder i Europa. 1999 var Sverige Västeuropas (EU:s) största producent av järn, silver och bly. Sverige var EU:s näst största producent av koppar och zink och den tredje största guldproducenten. Hur många har en aning om detta? Denna roll som en av EU:s ledande producentländer av de viktigaste metallerna talas det väldigt tyst om i den offentliga debatten. Varför? Antingen är våra politiker och beslutsfattare okunniga om detta faktum eller så ligger det i deras intresse att inte alltför mycket "skryta" med denna position. Sanningen är nog tyvärr bådadera. Den politiska opportunismen i Sverige medger inte att man samtidigt som man säger att man vill vara drivande inom EU med miljöarbete och en hållbar utveckling även betonar betydelsen av en långsiktig inhemsk råvaruförsörjning inom EU. Häri ligger paradoxen. Genom att inte hävda att den inhemska råvaruförsörjningen är viktig ur perspektiven "ansvarsfullt utnyttjande av råvaror" och "ett långsiktigt hållbart samhälle" får det politiska handlandet motsatt effekt mot vad man säger sig vilja uppnå.

Om inte Västeuropa (EU) tar ansvar för ett balanserat resursutnyttjande kommer ytterligare exploatering av naturresurser i utvecklingsländer att ske i en alltmer ohämmad takt. Genom att inte ta ansvar för den inhemska produktionen av metaller kommer man att bidra till att de globala miljöproblemen kommer att växa ytterligare eftersom exploatering i utvecklingsländerna inte står under den kontroll som vi i den industrialiserade världen kräver av vår egen industri. På detta sätt riskerar de politiska krafter som säger sig ha den starkaste miljöprofileringen att spela de krafter i händerna som är mindre nogräknade när det gäller exploatering av naturresurser. Vill Sverige ta ansvar för en hållbar samhällsutveckling ska vi uppmuntra de investeringar som görs i prospekterings- och gruvverksamhet vilket skulle leda till en bättre balans mellan produktion och konsumtion inom EU.

Avslutningsvis har jag i tabell 5 på kommande två sidor listat de 80 vanligaste mineralen och metallerna som människan behöver för att upprätthålla den levnadsstandard som den stora merparten av oss i västvärlden vill ha och som vi också vill erbjuda utvecklingsländerna. En del av dessa mineral och metaller kommer att fasas ut på grund av att de är giftiga eller att andra material med bättre egenskaper har ersatt dem, men det stora flertalet kommer under en överskådlig framtid att utgöra grunden för vårt välstånd och utgöra förutsättningen för en hållbar utveckling.

PÄR WEIHED är professor i malmgeologi och avdelningsföreståndare för avdelningen för malmgeologi och tillämpad geofysik vid Luleå tekniska universitet.

Tabell 5: Användningsområden för mineral och metaller.

Aluminium	Flygplansdelar, fordonsdelar, järnvägsvagnar, fartyg, förpackningar, byggkonstruktioner, elektriska tillämpningar, läkemedel, vattenbehandling
Antimon	Legeringar, flamsäkring, batterier, plaster, keramer, glas, IR-detektorer och dioder, kabelisolering, färger, medicin
Arsenik	Glasproduktion, halvledare, träkonservering, pesticider, bronsning, pyroteknik, lasermaterial
Asbets	Cement, byggnadsmaterial (tak, rör), värme- och ljudisolering, eldsäkerhet
Ballastmaterial	Betong, byggkonstruktioner, vägar, broar, VVS-system
Baryt (Barium)	Filler, densitetsgivare. Broms och kopplingspedaler, stänkskydd. Primer i billack. I cement runt oljeledningar under vatten. I högdensitetsbetong för strålskydd. Kontrastvätska vid röntgenundersökningar. I glas i bildrör i TV och datorskärmar
Beryllium	Strukturmaterial för högpresterande flyg, missiler, rymdfarkoster och kommunikationssatelliter, bildelar, dator- och laserteknologi, röntgenglas, keramer, kärnkraftsindustri
Bly	Batterier, kabelfoder, blykristall, lödning och strålningsskydd, antiknackningsmedel I bensin, rör, ammunition
Borater	Gödningsmedel, desinfektion, rengöringsmedel, vattenavhärdare, korrosionstoppare för antifrysmedel, flussmedel i lödning, keramer, färg, ytbetäckning papper, emaljer, värmetåligt glas (Pyrex), läkemedel, konserveringsmedel, livsmedel
Brom	Färgämnen, flamdämpning, insektsmedel, läkemedel, parfymer, fotografiska kemikalier, vattenrening
Cesium	Tunga borrvätskor. Atomklockor. I DNA-separationsteknik, infraröda detektorer, mörkerkikare, fotoelektriska celler. Ce^{137} i cancerbehandling, i industriella mätverktyg, gruv- och geofysiska instrument, sterilisering av livsmedel, avloppsvatten, kirurgisk utrustning
Diamant	Industridiamanter: datachip-produktion, byggnationer, maskintillverkning, gruvor (borrning), stensågning, polering, transportsystem. Smyckesdiamenter: Juveler.
Diatomit	Filter, absorbenter, fillers
Dolomit	Byggnadssten, näringstillskott
Flussspat	Stältillverkning, aluminium, fluorokarboner (används i frysanläggningar, lösningsmedel, aerosoler, steriliseringsmedel, brandsläckare, valla)
Fosfat	Gödsel, rengöringsmedel, tvättmedel, flamskyddsmedel, mat och drycker, djurfoder, metallbehandling, vattenbehandling, pappersmassa och papper, glas och keramer, textilier och syntetfibrer, plast, gummi, farmaceutiska produkter, kosmetika, bensintillverkning och petroleumprodukter, konstruktioner, pesticider, tandkräm, gruvdrift, läder, färg, bränsleceller
Fosfor	Tändstickor, pyroteknik, brandskydd, brandbomber, spårammunition, glas, kalciumfosfat (för porslinstillverkning), ståltillverkning, rengöringstillsats, vattenavhärdare, pesticider
Fältspat	Glas, keramer, emalj, klinker, kakel, källa till alkali och aluminium i glasyr, färg, plaster, milt slipmedel, svetselektroder
Gallium	Halvledare i mobiltelefoner, glas och spegelbeläggning, transistorer
Germanium	Halvledare, IR-bildbehandling och detektorer, optiska fibrer, fosfor i fluoroscerande lampor, katalysatorer, strålningsdetektorer, laser och ljusdetektorer, medicinska och biologiska användningsområden
Gips	Byggkonstruktioner (gipsskivor, gips och cement), lantbruk, glas, kemikalier
Glimmer	Vägg och golvspackel, oljeborrningsvätskor, färg, tak, gummiprodukter
Grafit	Högtemperatursmörjning, kol för elektriska motorer, bromsbelägg och friktionsinlägg, batteri och bränsleceller, blyertsstift, sigill och packningar, kabelfoder, antistatisk plast gummi, värmeväxlare, elektroder, apparatur och belägg i kemisk industri
Granat	Slipmedel, sågning, vattenfiltrering, smycken
Guld	Utsmyckning, elektronik, tandvård, smycken, klockhus, pennor, dekoration av porslin och glas, värdesäkring
Indium	Tunnfilmsbeläggning i elektroluminiserande lampor och LCD-monitorer. Halvledare i infraröda detektorer, transistorer, solcellsteknik
Jod	LCD-skärmar
Järn	Ståltillverkning, legering
Kaolin	Filler i papper, gummi, plast, färg och bindemedel, keramer, fiberglas, cement, katalysator för petroleumraffinering
Kadmium	Galvanisering, kärnkraftverksdelar, televisionsfosfor, batterier
Kalksten	Ballast, cement, gödningsmedel, jordförbättring, järnflux, färger, plaster, boskapsföda
Kisel	Glas, klockor, datorer
Krom	Metallplätering, legeringar, pigment, rostskydd, glas och keramer, katalysatorer, oxidationsmedel, anodisering av aluminium, garvning av läder, eldfasthetsprodukter
Kol	Elektricitet; ståltillverkning; kemisk tillverkning; produktion av flytande bränsle, plaster och polymerer
Kobolt	Superlegering (används I jetmotorer och gasturbinmotorer), magneter, rostfritt stål, galvanisering, batterier, hårdmetall och diamantverktyg, katalysatorer, pigment, strålningsbehandling mot cancer
Koppar	Byggkonstruktioner, flygplansdelar, bildelar, industriella tillämpningar maskiner, möbler, mynt, hantverk, kläder, smycken, konst, musikinstrument, köksutrustning
Kyanit	Värmebeständigt material vid järn- och ståltillverkning och tillverkning av kemikalier, glas, övriga metaller med mera
Kvicksilver	Termometrar, barometrar, diffusionspumpar, elektriska apparater, elektroder, batterier, klor och natriumhydroxidtillverkning, växtbehandling, belysning, pesticider, tandvård
Leror	Tegel, keramer, näringstillskott, betong, murbruk
Litium	Smörjmedel, glas och keramer, litiumkarbonat (för reduktion av aluminium, batterier, kosmetika), högpreseterande legeringar, koldioxidabsorbent, rymdfarkoster, kärnkraftsapplikationer
Magnesit	Gödsel, högtemperaturkakel, filler i plaster och färg, kärnkraftsreaktorer och raketmotormunstycken, tillverkning av Epsomsalt (bittersalt), kosmetika, isoleringsmaterial och desinfektion, flamskyddsmedel

Mangan	Ståltillverkning, legeringar, batterier, färgning och pigment, antenner, svetsflussmedel, jordbruk, vattenbehandling, hydrometallurgi, bränsletillsats, oxidationsmedel, luktkontroll, katalysatorer, packningar, metallbeläggning, kretskort
Magnesium	Legeringar i flygplan, motorkåpor, missiler; eldfast material, jordbruk, filler i papper, färg, plaster, keramer, flammskyddsmedel, pyroteknik och signalljus; reduktionsmedel för produktion av uran och andra metaller från deras salter
Molybden	Legeringar, katalysatorer i raffinaderier, värmeelement, smörjmedel, nukleära tillämpningar, missil och flygplansdelar, elektriska tillämpningar
Nickel	Rostfritt stål, korrosionsbeständiga legeringar, gasturbiner, raketmotorer, plätering, mynt, katalysatorer, inbrottssäkra valv, batterier
Niob	Legeringar, rostfritt stål, avancerade tekniksystem (rymdteknologi), kärnkraftsindustri, elektriska produkter, smycken
Palladium	Smycken, juveler, klockor, kirurgisk utrustning, katalysatorer, tandvård (kronor), elektriska kontakter, vätgasrening
Perlit	Byggnadsmaterial, hortikultur, fillers
Pimpsten	Byggkonstruktioner, stentvätt i textilindustrin, glas och metallpolering, tandvård, tandkräm, jordbruk, sport, fritidsanläggningar, kosmetika
Platina	Smycken, juveler, mynt, katalysatorer, elektronik, glas, tandvård, kemikalier och elektrokemikalier, katalysator, bensin, laboratorieutrustning, cancerläkemedel, implantat (pacemakers, hjärtklaffar), värdesäkring/investering
Plutonium	Kärnbränsle och vapen, pacemakers
Pottaska	Gödsel, tvål och rengöringsmedel, glas och keramer, kemisk färgning och läkemedel, mat och dryck
Rhenium	Katalysator inom petroleumindustri, högtemperatur superlegeringar, turbinmotorer, bimetalkatalysator, legering i deglar, elektriska kontakter, elektromagneter, elektronrör, värmeelement, joniseringsmätverktyg, masspektrometrar, metallbeläggning, halvledare, temperaturkontroll, effektmetrar, vakumkammare
Rodium	Legeringar (ugnsklädsel), effektmeter (thermocouple), bussning för glasfiberproduktion, elektroder för flygplanständstift, smältdeglar, elektriskt kontaktmaterial, optiska instrument, smycken, katalysatorer
Rubidium	DNA-separation, fiberoptik, oorganiska kemikalier, lampor, mörkerkikare, standard för atomabsorptionsanalys. I atomklockor. Rb^{82} i bildbehandlingsteknologi för hjärtsjukdomar. Geokronologi
Salt (natriumklorid)	Livsmedel, kemisk industri, vägsalt med mera
Sand och grus	Betong, tegel, vägar, byggnadsmaterial
Scandium	Aluminumlegering i sportutrustning, metallurgisk forskning, metallhalidlampor, analytisk standard, elektronik, laser
Selen	Fotoreceptorer (tilverkning av kopieringmaskiner och laserskrivare), elektroniska applikationer, glas, pigment, legeringar, biologiska tillämpningar, gummi, smörjmedel, katalysatorer
Silver	Fotografi (röntgenfilm), smycken, juveler, elektriska tillämpningar, batterier, lödningslegeringar, bestick, speglar, glas, mynt
Sodaaska (Natriumkarbonat)	Glas, rengöringsmedel, kemikalier, vattenbehandling, rökgasavsvavling, papper, pappersmassa
Svavel	Svavelsyra, ammunition, svambekämpningsmedel, vulkanisering
Strontium	Glas i bildrör; ferritkeramiska magneter, pyroteknik
Sällsynta Jordartsmetaller	Katalysatorer, metallurgiska tillsatser/legeringar, glaspolering, TV-apparater, dotorskärmar, radar, röntgenfilm, permanentmagneter.
Talk	Papper, plast, färg, keramer, eldfastmaterial, tak, gummi, kosmetika, kosmetika, agrokemi, djurfoder, cement, glasfiber
Tallium	Kardiovaskulär bildbehandling, i scintillometrar, supraledare (HTS) i filter för trådlös kommunikation, linser, prismor, fönster för infraröd detektions- och transmissionsutrustning, kristallfilter för ljusdiffraktion i akusto-optiska mätinstrument, legering med kvicksilver. Tillsats i glas, syntes av organiska föreningar, tunga vätskor
Tantal	Elektrolytisk kondensator, legeringar, inkapsling av kemiska och nukleära reaktorer, vajer, kirurgi, kameror
Tellurium	Legering i stål, koppar, bly; gjutjärn, smidesjärn. Vulkanisering, syntetisk fibertillverkning. Fotoreceptorer, termoelektrisk utr., sprängkapslar, pigment i glas och keramer
Tenn	Tenplåt, legeringar, lödning, tenngods, kemikalier, panelljus, frostfria vindrutor
Thorium	Högtemperaturkeramer, katalysatorer, svetselektroder
Titan	Produktion av lättviktslegeringar, flygplanskomponenter, bildelar, ersättning av mänskliga leder, färg, klockor, kemikalier, processindustri, marin utrustning, pappers- och pappersmassetillverkning, ledningar, smycken, juveler
Uran	Kärnbränsle, kärnvapen, röntgenmål, fotografisk toner
Vanadin	Legeringar, katalysator, pigment i keramer och glas, batterier, medicinska-, kosmetiska- och elektroniska användningsområden
Vermiculit	Jordbruk, isolering, lågviktsbetong
Vismut	Smidesjärn, effektmeter (thermocouple), bärare av uranbränsle i kärnkraftsreaktorer, lågsmältande branddetektorer och släckningssystem, acrylfibrer, medicin, kosmetika
Wolfram	Legeringar (i glödlampor, elektron och tv-rör, metallavdunstning), ammunition, kemisk och garvningsindustri, färg, röntgenmål
Yttrium	I TV-apparater och dataskärmar, trikromatiskt fluoroscerande ljus, temperatursensorer, röntgenskärmar, stabiliserare i slipmedel, nötnings och korrosionbeständiga kapverktyg, packningar och tätningar, högtemperaturbeständig munstycken, jetmotorer, syre-sensorer i motorer, mikrovågsradar, industriell kapning svetsning, medicinsk och dental kirurgi, temperatur och avståndsmätning, fotoluminesens, fotokemi, digital kommunikation, ickelinjär optik. Värmelementlegering, superlegering, högtemperatursupraledare
Zink	Galvanisering, legeringar, mässing, batterier, tak, vattenrening, mynt, zinkoxid för tillverkning av färg, gummiprodukter, kosmetika, farmaceutiska produkter, golvbeläggning, plaster, skrivarbläck, tvål, textilier, elektrisk utrustning, salvor, zinksulfid för självlysande urtavlor, röntgen och TV-monitorer, färg, fluoroscerande ljus
Zirkonium	Keramer, eldfasta produkter, gjutsand, glas, kemiska rör i korrosiva miljöer, kärnkraftsreaktorer, härdare i legeringar, värmeväxlare, fotoblixtar, kirurgiska instrument
Ädelstenar	Smycken, slipning

Göta älvdalens utveckling de senaste 12 500 åren

Sveriges största avrinningsområde tillhör Göta älv – som är cirka 76 kilometer lång och går från Vänern i norr till mynningarna vid Kungälv och Göteborg i söder. Älven och dess dalgång har formats under flera årtusenden. Nu presenteras bland annat nya stratigrafiska data från dalgången, framtagna med hjälp av en maringeologisk undersökning.

TEXT Fredrik Klingberg

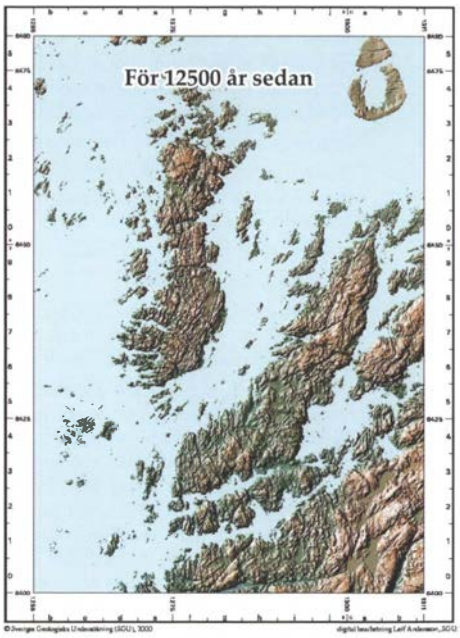
BILD Tore Påsse, Leif Andersson

Hur gammal är Göta älv? Hur stora lermäktigheter finns i dalgången? Låg Ancylussjöns utlopp någon gång i Göta älvdalen? Detta är några av de frågor som besvaras eller diskuteras i en ny rapport från Sverige geologiska undersökning, SGU.

Göta älv utgör en viktig nationell resurs och är bland annat vattentäkt för cirka 700 000 människor. Många industrier utefter älven använder också dess vatten som kylvatten eller processvatten. Älven är dessutom en viktig transportled och årligen transporteras här ungefär 3,5 miljoner ton gods, framför allt olja och andra petroleumprodukter. Även på land utgör dalgången en viktig transportled med stora vägar och järnväg.

Jordartsgeologiska undersökningar på land och till sjöss skiljer sig metodiskt oerhört mycket. Under vattnet kartläggs jordlagren huvudsakligen med geofysiska metoder som kan ge detaljerad information speciellt med avseende på lagerföljder och jorddjup. På land sker kartläggningen av jordarter traditionellt huvudsakligen genom att observera endast ytlagren. Eftersom borrningar är kostsamma görs sällan stratigrafiska undersökningar på land.

De stora byggnadstekniska problemen i Göta älvdalen är välbekanta. Varje nytt byggnadsprojekt kräver därför stora mått av försiktighet med avseende på grundläggning. De ytliga jordlagren i älvdalen har undersökts på land vid flera undersökningar. Genom att göra en maringeologisk undersökning i själva Göta älv har det varit möjligt att på ett relativt enkelt sätt få fram en mycket stor mängd ny information om älvdalens strati-



Bildserien: Den geologiska utvecklingen i Göta älvdalen med omgivningar visas med tre paleogeografiska kartor med en terrängskuggning inlagd. Nere i vänstra hörnet ligger Göteborg och överst till höger skymtar Halle- och Hunneberg. Den första kartan (längst till vänster) visar fördelningen mellan land och hav för cirka 12 500 år sedan då dalgången utgjordes av ett arktiskt hav, direkt efter isavsmältningen. Ett sund "Götasundet" utvecklades därefter för cirka 11 000 år sedan, mellersta bilden. När Trollhättefallen började bildas för cirka 10 000 år sedan fanns en lång vik "Götakilen" i dalgången. Bilden tilll höger visar paleogeografin för cirka 7 500 år sedan.

LÄS MER I RAPPORTEN Bottenförhållanden och geologisk utveckling i Göta älv – av Fredrik Klingberg, Tore Påsse och Jenny Levander i SGU serie K43.

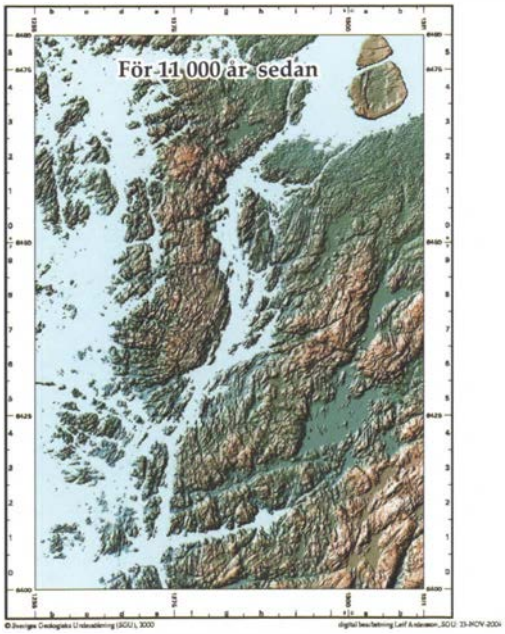
grafiska förhållanden. Den geologiska undersökningen av älvens botten har utförts från SGUs undersökningsfartyg Ocean Surveyor med hydroakustiska mätmetoder, såsom sidoavsökande sonar (side scanning sonar), sedimentekolod och seismik samt med provtagningar. Även om det i princip är älvfåran som undersökts går denna information att extrapolera mot dalgångens sidor, åtminstone kortare sträckor.

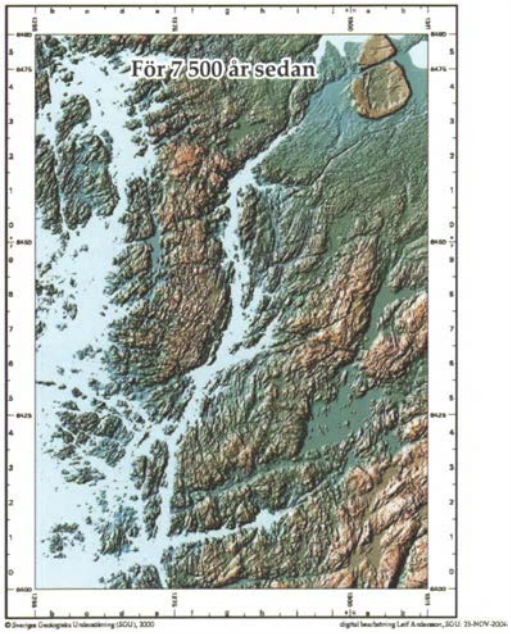
De sidoavsökande sonarmätningarna har givit underlag till en ytsedimentkarta över älvbottnen. Denna karta visar, föga överraskande, att lera är den vanligaste jordarten på älvens botten. Vanligen täcks leran dock i de djupare delarna i älven av ett tunt lager av sand. I två områden, norr om Dösebacka och norr om Lilla Edet, finns mäktiga sandlager på leran.

Resultaten från mätningarna med sedimentekolod och seismik har gett information om jordlagrens mäktigheter i älvfåran. Mellan Göteborg och Lilla Edet är jorddjup på över 100 meter vanliga. Den största jordmäktigheten noterades till cirka 225 meter vid Nol och Dösebacka. Norr om Lilla Edet är jordmäktigheterna generellt lägre med jorddjup mellan 10 och 60 meter. Jordlagren i dalgången utgörs till allra största delen av glacial lera. Mellan Bohus och Älvängen finns en avlagring av grovkorniga sediment under den glaciala leran. Avlagringen består av morän och isälvssediment vars totala mäktighet inom vissa områden överstiger 100 meter.

Från isavsmältningen och fram till för cirka 11 000 år sedan rådde havsliknande förhållanden i Göta älvdalen. I detta hav avsattes den glaciala leran. Under cirka 1 000 år härefter bildade Göta älvdalen ett smalt havssund "Götasundet", som i söder mynnade i Göteborg och i norr vid Uddevalla och Dalsland. När sunden vid Uddevalla-Dalsland stängdes på grund av landhöjningen kom Göta älvdalen att bilda en lång havsvik som sträckte sig in i Vänersänkan. Regnvatten och smältvatten från inlandsisen, som ännu hade sin front över norra Vänersänkan, dränerades ut via denna havsvik. Kort härefter höjdes dock pasströskeln vid Vargön vid Trollhättan upp ur havet och Vänern isolerades från havet. Göta älvdalen nådde under denna tid upp till dagens läge för Trollhätteslussarna och bildade då en cirka 65 kilometer lång vik. Denna mycket långsträckta vik har fått ett eget namn nämligen "Götakilen". Götakilen existerade i cirka 6000 år det vill säga under så lång tid nådde dess inre del ända till Trollhättan. Denna långsträckta havsvik torde ha varit en mycket viktig transportled under stenåldern. För cirka 4 500 år sedan höjdes ett nytt pass upp ur havet vid Lilla Edet och en älvfåra utformades mellan nuvarande Trollhätteslussarna och Lilla Edet. Härvid kom Götakilen att kortas av. Fortfarande för cirka 2000 år sedan nådde Götakilen ända i n till Lilla Edet. Under de senaste 2 000 åren bildades älvens huvudsakliga sträckning söder om Lilla Edet. Det är således först de senaste 2 000 åren som Göta älv fått en skepnad liknande dagens.

FREDRIK KLINGBERG är fil. dr. i kvartärgeologi och arbetar som maringeolog vid SGU i Göteborg.





Geologer och arkeologer – i nära samarbete

Arkeologin kännetecknas idag av en tvärvetenskaplig profil där flera vetenskapsgrenar samarbetar om att finna svaret på hur människor har levt, varit organiserade och kommunicerat. En viktig hörnsten i konstruerandet av mänsklighetens historia hittar vi inom geologin.

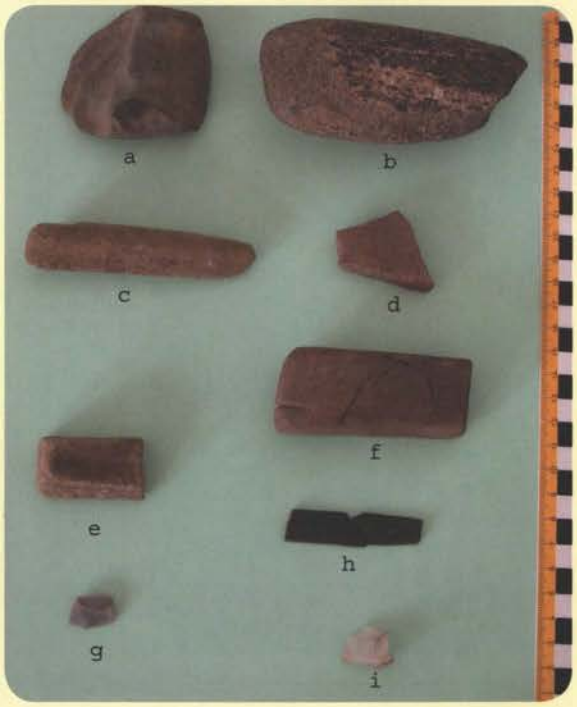
TEXT Daniel Andersson, Lena Grandin

Som många säkert känner till har kvartärgeologiska kunskaper traditionellt tillämpats inom arkeologin – och tvärtom. Exempel på detta ser vi i havsnivå- och landhöjningsstudier, studier av isrörelser, inom jordartskartering, samt i analyser av pollen och makrofossil. Men det finns andra geologiska discipliner som är av intresse då vi försöker utforska människans utveckling från isens reträtt till våra dagar.

På Geoarkeologiskt Laboratorium har vi specialiserat oss inom de verksamhetsområden som har med olika hantverk att göra, framförallt sten- och metallhantverk. För att få mer kunskap om hur stenålderns yxtillverkare valde sitt råmaterial, bronsålderns hantverkare gjöt smycken och bruksföremål, eller hur järnålderns smed framställde järn från myrmalm och smidde knivar, tillämpar vi kunskaper som traditionellt förknippas med mineral, bergarter och deras bildningssätt.

Råvaror i redskapsproduktionen

Vid utgrävningar av stenåldersboplatser utgör fynden av sten, bergarter eller mineral, ofta en stor del av det



Stenartefakter från Högmossen, en stenåldersboplats två mil söder om Gävle vilken daterats till cirka 3 600 fKr. Bild a och b visar två yxor tillverkade av en finkornig respektive grovkornig grönsten. Kambrisk sandsten, bild c, e och f, har använts för tillverkning av olika brynen medan den jotniska sandstenen använts till slipstenar, bild d. Bild h visar en spets av skiffer medan g och i är avslag, det vill säga restprodukter vid tillverkning av olika redskap, av flinta respektive kvarts. Foto Karl-Fredrik Lindberg, UV GAL.

Riksantikvarieämbetet
Vid Geoarkeologiskt Laboratorium (GAL) i Uppsala arbetar arkeologer och geologer tillsammans för att med gemensamma kunskaper lösa arkeologiska problem. GAL är en del av Avdelningen för arkeologiska undersökningar (UV) vid Riksantikvarieämbetet (RAÄ). Avdelningen arbetar med flera typer av arkeologiska uppdrag över stora delar av Sverige och finns på flera platser i landet, mer att läsa på: www.raa.se/uv

Blästugnar. En utgrävd ugn från Gråfjell, Norge, bild A, och en rekonstruerad blästugn från Närke (rekonstruktion av Eva Hjärthner-Holdar, teckning Kerstin Åberg), bild B. Bevaringsgraden av forntida blästugnar är ofta låg och av ugnen från Gråfjell finns en ovanligt stor del kvarlämnad åt arkeologerna. Blästugnen från Lejre, bild C, är baserad på information från arkeologiska utgrävningar och konstruerad för experimentell framställning av järn. Ugnen är av den typ som kontinuerligt kan tappas på slagg och centralt i bilden syns ett flöde av slagg som just lämnat bottnen av ugnen. Foto UV GAL.

insamlade materialet. Människan lärde sig tidigt att utnyttja sten och att värdera materialets skiftande egenskaper. Flintyxor och andra verktyg i detta material är väl den mest kända användningen av sten hos våra förfäder. Men flintans begränsade naturliga förekomst i den svenska lagerföljden och i våra moräner har medfört att många andra bergarter också nyttjats, speciellt i de mellersta och norra delarna av landet. Yxor i mörka basiska djup- och gångbergarter (grönsten), skrapor och pilspetsar av kvarts, hälleflinta och andra vulkaniter, sandsten till brynen och slipstenar är exempel på hur fyndbilden kan se ut från en stenåldersboplats. Materialegenskaper, beroende på kornstorlek och mineralsammansättning, inom varje bergartsgrupp har dessutom varit känd och beaktats av den forne hantverkaren. Vid vissa boplatser finner man till exempel att den porösare kambriska sandstenen oftast är använd till mindre brynen för skärpning av skärande verktyg medan den hårdare kvartsitiska jotniska sandstenen använts till mal- och slipsten. Det medvetna materialvalet kopplat till olika användningsområden kan alltså ge inblickar i den mänskliga aktiviteten vilken är viktig när ett samhälles organisation och ekonomiska status ska bedömas.

En annan frågeställning som är högt prioriterad hos arkeologer vid behandling av fyndmaterial är dess proveniens eller ursprungsområde. Finns materialet lokalt på platsen, är det istransporterat eller avslöjar det kanske tidigare icke kända handelsförbindelser? För att söka svar på dessa frågor använder vi på GAL oss både av befintlig kunskap såsom berggrundskartor med tillhörande beskrivningar och utför egna specifika fältstudier där till exempel bergarter, i fast klyft och block, kvartsådror och så vidare, detaljkarteras inom ett begränsat område. Petrografiska studier av tunnslip och tolkningar av geokemiska analyser kan ge ytterligare information om bergartens ursprung och dess användningsområde och utförs också då det anses nödvändigt.

Från bronsåldern och fram till modern tid avtar fynd av sten successivt till förmån för andra material, oftast då metaller eller legeringar. Men inom en del användningsområde är stenens egenskaper oersättliga och förekommer därför under en del tidsperioder och ända fram i våra dagar som råvara. Några sådana exempel är kvarnstenar, slipstenar och brynen. Kvarnstenar, och malstenar, kräver specifika egenskaper hos bergarter ur vilka de ska tillverkas. De måste ha en naturlig klyvbarhet samtidigt som de ska ha en mineralogisk sammansättning som gör dem motståndskraftiga mot nötning. Dessa egenskaper begränsar givetvis utbudet av lämpade bergarter och de stenbrott där kvarnstenar brutits är därför relativt väl kända. Strax söder om Malung finns ett flera kilometer långt stenbrott där förskiffrad sandsten brutits sedan tidig medeltid. Identifiering av denna bergart från utgrävningar i andra delar av landet har medfört att man kunnat ge en minimiålder då brytningen startade och fastställt handelsvägar. På motsvarande sätt har man kunnat spåra spridningen av brynen och slipstenar, vilka också är kvalitetsberoende redskap, från stenbrott med specifika bergarter. Brynen av kvartsfyllit från Eidsborg i Telemark har till exempel exporterats till stora delar av norra Europa alltsedan vikingatiden.

Skalenlig rekonstruktion av en av de äldsta framgrävda masugnarna, nya Lapphyttan, Norberg. Foto UV GAL.

Arkeometallurgi

Det område som vi väsentligen arbetar med omfattar metaller, alltifrån järnframställning till guldsmide. Vid en första anblick förknippar man troligen inte detta med geologiska kunskaper men det finns många moment i omvandlingen av malm till metall som har stora likheter med, framförallt magmatiska, bergartsbildande processer. Modern metallurgi styrs detaljerat av datorer och resultatet är mycket homogent. Förhistoriens metallproducenter var visserligen skickliga men deras järnframställning och mässingsgjutning ägde rum under betydligt heterogenare förhållanden som mer överensstämmer med naturens egna.

Järnproduktion och smide en lång historia

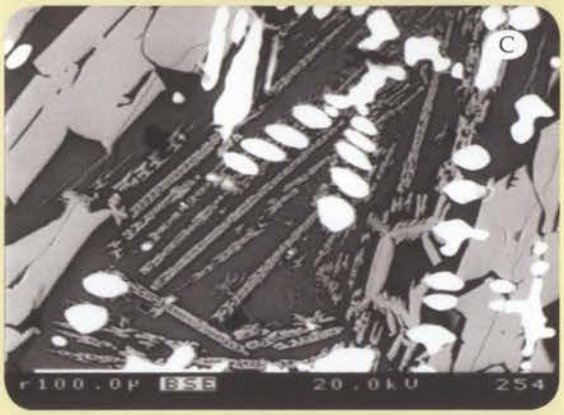
Järn och stål har under lång tid haft en betydande roll i Sveriges historia och ekonomiska utveckling. Tillverkningen har också påverkat kulturella och sociala traditioner i de regioner där den har ägt rum och spåren kan än idag ses i flera samhällen, till exempel i de så kallade bruksorterna. De tidigast kända fynden av järnframställning i form av ugnar och slagg, som är avfallsprodukten, finns från cirka 1000-talet f.Kr. i de sydvästra, östra och centrala delarna av Sverige. Arkeologer har också hittat järnföremål, bland annat skärande redskap och vapen, som är ytterligare cirka 200 år äldre. Den första järnframställningen skedde i en ugnstyp som kallas blästugn. Ugnarna har förekommit i flera varianter men några typiska drag är att de var sten- och/eller lerbyggda schakt, med en innerdiameter på cirka en halvmeter och mindre, ibland något större. Troligtvis översteg deras höjd sällan två meter. I dessa framställdes ett smidbart mjukt järn eller stål. Som råvara användes myr- eller sjömalm och bränslet utgjordes av träkol.

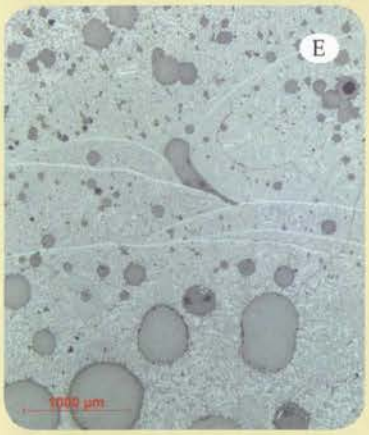
Malm och bränsle varvades i schaktet och under lufttillförsel med hjälp av blåsbälg omvandlades malmens järnhydroxider via järnoxider till metalliskt järn. Detta samlades i ugnen i höjd med luftinförseln. Temperaturen i ugnen var inte tillräckligt hög för att järnet skulle smälta utan det formade snarare en degig klump. Samtidigt som järnet bildades, samlades malmens resterande ämnen i slagg, det vill säga avfallsprodukten. Denna slagg var i smält form och rann ner mot ugnens botten, eller tappades ut ur ugnen.

I slutet av 1100-talet skedde en övergång till en annan ugnstyp: masugnen. Denna var större, använde vanligtvis bergmalm (magnetit och/eller hämatit) som råvara, arbetade vid högre temperatur och såväl järn som slagg bildades i smält form och tappades ut ur ugnen åt varsitt håll efter hand under processens gång.

Även om masugnen så småningom tog över efter blästugnen levde båda teknikerna sida vid sida. Blästugnen och blästjärnet som en gång var högteknologi, blev distanserad och marginaliserad till förmån för den högproducerande masugnen under loppet av medeltiden (1100-1450). En rekonstruerad hyttbacke med sin masugn, från början av 1200-talet, finns att beskåda i Norberg den så kallade nya Lapphyttan. Här görs också experiment för att rekonstruera den gamla masugnstekniken.

Järn från båda ugnstyperna kräver ytterligare bearbetning. Även om järnet från blästugnen var av rätt sammansättning för fortsatt smide innehöll det oftast slagg som behövde smältas ur. Järnet från masugnen, så kallat gjutjärn, innehöll visserligen mindre slagg men hade en för hög kolhalt för att kunna smidas och behövde därför först avkolas, genom en så kallad färskningsprocess. Även dessa vidarebearbetningsmoment har utvecklats genom århundradena och flera tekniker har funnits för att förbättra smides- och färskningsprocesserna. Detta har satt sina spår i slaggerna så att vi idag har möjlighet att känna igen de olika processerna.



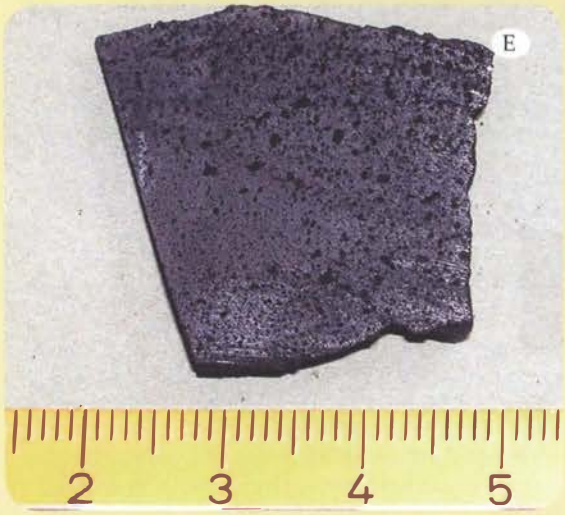


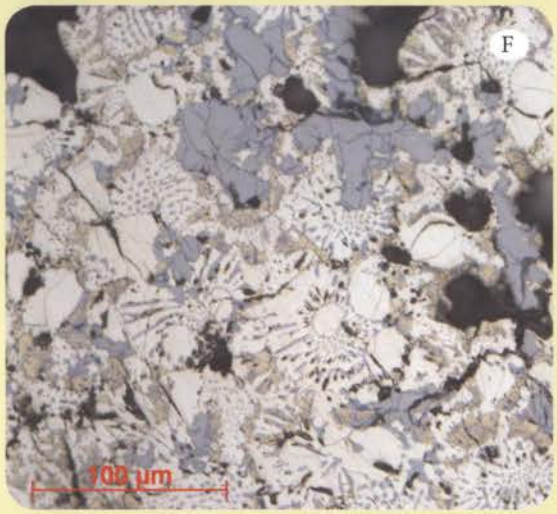
Järnslagger. Homogen slagg stelnad i botten av ugnen, från norra Skåne (Östra Spång), bild A. Bild B visar ett tunnslip, bildhöjd 27 mm, av samma slagg. Bilden från elektronmikrosonden, bild C, visar att slaggen har en ganska typisk sammansättning för en järnslagg med olivinlameller (ljusgrå område), dendritisk wüstit (vita) och en glasfas (mörkgrått). Tappslagg (jämför lava) från Norge (Gråfjell), bild D. Mikroskopbilderna E och F i två förstoringar visar tydligt kontakten mellan flera slaggsträngar som var och en har stelnat utanför ugnen i en syrerik miljö. Dels har stelningen gått fort och slaggen blivit finkornig, dels har syretillgången medfört att magnetit har kunnat bildas. Foto UV GAL.

Geologi och arkeologi ett fruktbart samarbete

Arkeologi fångar fragmentariska glimtar av det förgångna där det hela tiden gäller att ta tillvara varje pusselbit för möjligheten att skapa en helhet och förståelse. Detta gäller även vid utgrävningar av till exempel järnframställningsplatser. Vid arkeologiska undersökningar hittar man vanligen endast bråkdelar av de ovan beskrivna ugnarna eller ässjorna där smidet har ägt rum. Om det endast är blästugnens underliggande slagguppsamlingsutrymme som finns kvar är det svårt att dra några långt gående slutsatser om ugnens höjd, byggnadsmaterial, dess funktion och vilken produkt som tillverkats, speciellt som det ytterst sällan finns några färdiga föremål att undersöka. För att komma längre i tolkningen om processen kan därför de geologiska kunskaperna tillämpas.

Vid en inledande okulär granskning av slagger tittar vi på bland annat form, färg, densitet, eventuell magnetism, porositet och struktur. Med hjälp av detta kommer vi ganska långt i vår tolkning, precis som när man studerar bergarter. Petrografiska undersökningar ger mer detaljerad information om slaggernas mineralogiska sammansättning, om de är homogent eller heterogent uppbyggda och under vilka betingelser





Kopparframställningen i Falun. Snitt genom en rekonstruerad kallrost (Lindroth 1955 färgplansch vid sidan 24), bild A (sid 39), och en kallrost under utgrävning i gruvrondellen, Falun, bild B (överst på denna sida). Stenraden visar rostens ursprungliga begränsningsyta medan den röda färgen bildats av den rostade malmen. Kopparslagg från suluugn, rödfärgad i ytan efter påverkan av rostning, bild C. I mikroskala: olivin, glas och sulfiddroppar (vita), bild D. Liknande sulfiddroppar, men i större koncentration finns i produkten från suluugnen, skärsten, bild E och F. I mikroskala: blandning av icke-stökiometriska sulfidfaser. Foto UV GAL.

som de har kristalliserat. Med utgångspunkt i olika frågeställningar och slaggernas och malmernas karaktär använder vi oss också rutinmässigt av röntgendiffraktion, mineralkemiska och totalkemiska analysmetoder och får ytterligare kunskap om råvara, process, avfall och produkt. Geologen och arkeologen översätter sedan tillsammans dessa resultat till metallhantverkets olika processer som framställning i olika ugnstyper, smide eller gjutning. Vidare försöker vi läsa ut något om hantverkarens kunskap och inom vilken typ av samhälle han har verkat.

Inte bara järn....

Järn har visserligen varit av stor betydelse i Sveriges utveckling men det var inte den första metallen som användes. Motsvarande frågeställningar, analysmetoder och tolkningsmöjligheter finns naturligtvis även för andra metaller och legeringar som har tillverkats och bearbetats under flera årtusenden. Vare sig gjutning av kopparlegeringar, som brons och mässing, eller arbete med ädelmetallerna silver och guld lämnar dock lika mycket avfallsmaterial efter sig som järnframställningens mer omfattande slaggvarp. Huvudsakligen är det små smältrester eller trasiga föremål som finns kvar och som vi analyserar för att se vilka sammansättningar de har. I ett vidare perspektiv är detta intressant för att kunna urskilja olika ursprungsområden för råvarorna, i vilken utsträckning som dessa blandats, vilka tekniker som hantverkarna använde sig av och om dessa var specialiserade i sitt hantverk eller mångsysslare.

Mycket av den tidiga metalltillverkningen byggde på import av råvaror eller omsmältning av äldre föremål men en plats som så småningom fick stor betydelse är Falu gruva och den omfattande verksamheten med framställning av koppar ur sulfidmalmer som skedde i en komplex flerstegsprocess i gruvans närområde. Gruvan har varit i bruk i mer än tusen år och dess verksamhet har satt tydliga spår i Falun som delvis vilar på lager av slagg från smältningen av malmen. Nyligen genomförde vi en arkeologisk undersökning som utgör ett bra exempel på hur arkeologi och geologi kan komplettera varandra. Arkeologiskt fanns det anläggningar, konstruktioner, från den så kallade kallrostningen av malmen att undersöka. Det fanns dock nästan ingen malm kvar att analysera eftersom den gått vidare till nästa process, smältningen i suluugn. Av ugnarna fanns inga spår i det område vi undersökte. Däremot fanns det enorma mängder av slagg från dem som hade deponerats i tjocka lager och i dessa hade man byggt kallrostarna – cirkeln var därmed sluten. Anläggningar och material representerade här varsin process och kunde båda undersökas och resultaten läggas samman till en större kunskap än vad var och en kunnat åstadkomma.

Om man gör ett besök vid världsarvet Falu gruva kan det vara värt att tänka på att det inte är enbart gruvan som av bergshistoriskt intresse. I stora delar av omgivningen finns det också spår av den omfattande kopparproduktionen och om man använder den nya gång- och cykeltunneln i rondellen framför infarten till gruvan gör man en resa genom lager som representerar nästan 300 år av bergshanteringens och kopparframställningens historia.

DANIEL ANDERSSON, fil.dr i geologi inom ämnesområdet allmän och historisk geologi, Stockholms universitet. Arbetar som geokemist på Riksantikvarieämbetet UV GAL.

LENA GRANDIN, fil.dr i geologi inom ämnesområdet mineralogi och petrologi, Uppsala universitet. Arbetar som mineralkemist på Riksantikvarieämbetet UV GAL.

LITTERATUR

Analysrapport nummer 22-2005, Avdelningen för arkeologiska undersökningar UV GAL. Kallrostar och slagglager. Lämningar efter kopparhantering i Gruvrondellen. www.raa.se/uv

Analysrapport nummer 7-2006, Avdelningen för arkeologiska undersökningar UV GAL. Järnframställning i Gråfjellområdet. Arkeometallurgiska analyser av 2005 års undersökningar.

Hjärthner-Holdar, E., Kresten P. & Larsson, L., 1997: From known to unknown. Application of well-known experimental iron production results on archaeological materials. I: Early iron production – archaeology, technology and experiments. Nordic iron seminar, Lejre, July 22nd to 28th, 1996. Red. L. Chr. Nørbach. Technical Report 3, 15-25. Lejre

Lindroth, S. 1955. Gruvbrytning och kopparhantering vid Stora Kopparberget intill 1800-talets början. Stora Kopparbergs Bergslags AB. Uppsala.

Uppland 2005. Red. Bent Syse. Årsbok för medlemmar i Upplands fornminnesförening och hembygdsförbund

Vårt geologiska arv

En guidad geologisk tur i Madonie European Geopark på Sicilien, Italien.

Att instifta så kallade geoparker skulle kunna vara ett sätt att värna om vårt gemensamma geologiska arv. Samtidigt skulle geoparkerna kunna bli ett sätt att sprida information om geovetenskapen och dess roll i samhället. I Europa finns redan 25 geoparker – i tio länder.

TEXT: Barbara Wohlfarth & Nationella IGCP-kommittén

FOTO Patrick McKeever

Jag tänker nästan alltid på geologi, när jag till exempel är ute på stan, när jag vandrar, åker bil, tåg eller flyg. Det kan vara polerade berghällar som för mina tankar till inlandsisarnas framfart, kalkstenar med små spännande fossil som visar att här har det funnits mängder av liv för många miljoner år sedan, fina byggnadsstenar som för den invigde berättar en hel historia, eller bara en sandstrand vid en liten sjö, där vågorna sakta spolar fram och tillbaka...

Man skulle enkelt kunna klassa det som en yrkesskada. På sätt och vis är det kanske också så att jag är "impregnerad" av geologi genom åratal av utbildning och tack vare det kan jag se och försöka förstå alla dessa geologiska underverk som finns runt omkring oss, och som alla, var och en för sig, berättar en spännande historia om händelser och livet på Jorden, förr, nu och även i framtiden. En historia och kunskap som jag önskar att många fler kunde ta del av.

Tror du inte att många undrar över hur till exempel våra sjöar och torvmossar bildades, varför det finns så mycket stora stenblock precis runt din husknut, varför de stora åsarna i Stockholmsområdet inte består av samma material som åsarna i till exempel Skåne, varför det finns så mycket metaller i Sverige men inga diamanter? Eller... varför finns det inga aktiva vulkaner i Skandinavien och varför har vi flest jordbävningar längs västkusten?

Skulle det inte vara utmärkt om det fanns specifika platser där man kunde få svar på alla dessa frågor och på många fler? Där man kunde vandra runt och titta på geologin och lära sig hur man kan använda den geologiska utvecklingen för att förstå mer om Jordens historia men också om nutidens landskap och kanske till och med om hur den långt avlägsna framtiden kommer att se ut. Ett ställe där man bevarar och nyttjar geologiska resurser och där man helt enkelt integrerar geologin med det dagliga livet?

Bred geologisk kunskap har efterlysts av många under de sista åren, inte minst som följd av de många naturkatastrofer som har inträffat på relativt kort tid. Hade vi kunnat agera och reagera annorlunda om många fler hade haft samma kunskapsbasis som geologer eller geovetare i allmänhet har? Det finns förstås inga entydiga svar på denna fråga – men det är troligt att förståelsen för geologiska processer hade varit betydligt högre om geologin hade varit en självklar del av undervisningen på grundskole- och gymnasienivå. Men tyvärr kommer det nog att ta många år innan alla kan få ta del av den kunskap som är en självklarhet för alla geologer – förståelsen för alla de geologiska processer, som skapade Jorden och som är förutsättningen för livet på Jorden nu och i framtiden. Processer som för många av oss är liktydiga med naturkatastrofer.

Eftersom den geologiska kunskapsbasen begränsas till allt färre människor (antalet studenter som läser geologi har till exempel minskat under de senaste åren), så kom en grupp geologer på en utmärkt idé: varför inte skapa så kallade "geoparker", där kunskapen finns och dessutom är nästan gratis? Där skulle man kunna kombinera bevarandet av geologiska arv, erbjuda kunskap till alla och dessutom gynna det lokala näringslivet? Idén ledde till att UNESCO för några år sedan faktiskt tog upp initiativet under "Education in Earth Sciences" och fastslog hur viktigt det är att öka kunskaperna om geologin i samhället. Skulle vi kunna öka vår kunskap om geologiska processer, så skulle vi också kunna öka allmänhetens förståelse för dessa, samtidigt som vi skulle kunna verka för en uthållig utveckling i framtiden. Som ett led i detta föreslog UNESCO inrättandet av speciella geoparker, där det geologiska arvet kan bevaras och nyttjas.

VAD ÄR EN GEOPARK?

Definition enligt UNESCO:

- Ett område som innehåller ett antal lokaler som är av vetenskaplig betydelse – förutom ur geologisk synvinkel har området även arkeologiska, ekologiska eller kulturella värden. Geoparken ska ha en managementplan som gynnar en uthållig socioekonomisk utveckling (till exempel geoturism).
- Planen för geoparken ska utarbetas i samarbete med politiker, kommuner och det lokala näringslivet.
- Geoparken ska vara en del av ett globalt nätverk som visar på och delar med sig av hur geologiska arv bäst kan integreras i en uthållig utveckling.

Definition enligt European Geopark Network:

- Ett område som innehåller specifika geologiska arv och där det finns uttalade strategier för uthållig lokal utveckling. Geoparken måste ha tydliga gränser och tillräckligt stor yta.
- Ett område med ett antal geologiska lokaler som har speciell betydelse för forskningen, som innehåller sällsynta fynd - som är speciellt vackra eller som har stort kunskapsvärde.
- En geopark spelar en aktiv roll i den ekonomiska utvecklingen av ett område genom exempelvis utvecklingen av geoturism.
- En geopark ska öka livskvalitén för invånarna i området, samt ska hjälpa invånarna att genom ett aktivt deltagande och nyttjande återuppliva området
- En geopark utvecklar och experimenterar med metoder som leder till bevarande av geologiska arv.
- En europeisk geopark måste jobba inom nätverket European Geoparks för att stärka och utveckla samarbetet emellan dessa. Den måste också samarbeta med det lokala näringslivet för att stödja skapandet av nya produkter.

GEOPARKER I EUROPA 2006

Astrobleme Rochechouart Chassenon – Frankrike
Park Naturel Régional du Luberon – Frankrike
Reserve Géologique de Haute Provence – Frankrike
Petrified Forest of Lesvos – Grekland
Psiloritis Natural Park – Grekland
Copper Coast Geopark– Irland
Beigua Geopark - Italien
Madonie Nature Park –Italien
Parko Culturale Rocca di Cerere -Italien
Maestrazgo Cultural Park – Spanien
Abberlay and Malvern Hills Geopark – Storbritannien
Forest Fawr Geopark – Wales / Storbritannien
Marble Arch Caves & Cuilcagh Mountain Park-
Nordirland / Storbritannien
North Pennines AONB – Storbritannien
North West Highlands – Scotland -Storbritannien
Hateg Country Dinosaurs Geopark – Rumänien
Bohemian Paradise - Tjeckien
Geopark Harz Braunschweiger Land Ostfalen – Tyskland
Geopark Swabian Alps – Tyskland
Mecklenburg Ice Age Park – Tyskland
Naturpark Bergstrasse Odenwald – Tyskland
Terra Vita Naturpark – Tyskland
Vulkaneifel European Geopark – Tyskland
Kulturpark Kamptal – Österrike
Eisenwurzen Naturepark – Österrike

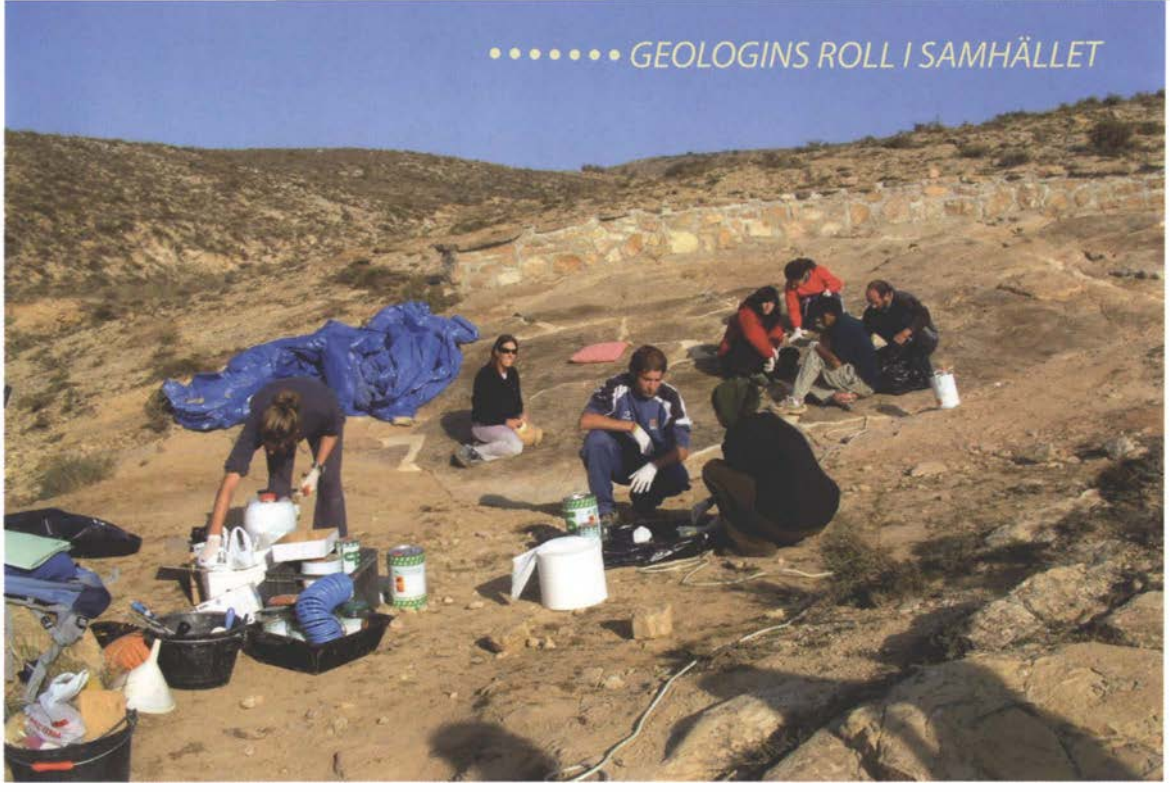
ÖVRIGA GEOPARKER - KINA

Lushan Geopark
Huangshan Geopark
Danxiashan Geopark
Shilin Stone Forest Geopark
Songshan Geopark
Wudalianchi Geopark
Yuntaishan Geopark
Zhangjiajie Sandstone Peak Forest Geopark
Yandangshan Geopark
Taining Geopark
Hexigten Geopark
Xingwen Geopark

LÄS MER OM ...

...UNESCO:s globala initiativ på:
www.unesco.org/science/earth/gparks/geoparks.html

Titta på fina bilder från geoparks i hela världen: *www.worldgeopark.org*
Läs mer om det Europeiska geoparks nätverket på: *www.europeangeopark.org*



Arbete pågår. Fotspår efter en dinousarie ska konserveras i Spaniens Maestrazgo European Geopark.

Idén med geoparker har snabbt tagits upp på flera håll i världen och idag finns bara i Europa redan 25 geoparker i tio olika länder och fler står på väntelistan. I Europa bildades dessutom för sex år sedan ett specifikt nätverk som kallar sig för "European Geoparks Network". Nätverkets huvudsyfte är att skydda geologiska arv, samtidigt som man vill gynna en uthållig utveckling. Men det är inte så lätt att uppfylla alla kriterier för att kunna kalla sig en europeisk geopark och för att kunna vara med i nätverket. Nätverket som har en tydlig organisation, har ställt upp ett antal tydliga riktlinjer och regler för att kunna säkerställa kvalitet och att begreppet inte urvattnas, det vill säga att geoparker håller den höga standard som krävs. Mellan de olika geoparkerna finns ett fungerande samarbete som bland annat innebär stöd för varandra, gemensamma konferenser, tidningar, informationsmaterial, med mera. Ett viktigt inslag är samarbetet med det lokala näringslivet. Begreppet "European Geoparks" är idag ett skyddat namn.

BARBARA WOHLFARTH, ordförande i nationella IGCP-kommittén.

IGCP står för International Geoscience Programme och är ett samarbete mellan UNESCO och IUGS, International Union of Geological Science med syfte att ge en multinationell plattform för forskare inom de geovetenskapliga disciplinerna och med syftet att främja kunskaps- och metodutbyte inom ett stort antal geovetenskapliga problemområden av global betydelse

Barbara Wohlfarth är även ordförande för Geologiska Föreningen och professor i kvartärgeologi, Stockholms universitet.

Kontakpersoner på Sveriges geologiska undersökning (SGU) som bland annat arbetar med frågor som rör vårt geologiska arv:

GUNNEL RANSED, gunnel.ransed@sgu.se
LINDA WICKSTRÖM, linda.wickstrom@sgu.se

Se även artikeln om PROGEO i Geologiskt forum nr 30, år 2001. Samt artikeln om Områden av geovetenskapligt riksintresse för naturvården i Geologiskt forum nr 35, 2002.

ÄR GEOPARKER NÅGOT FÖR SVERIGE?

Kanske besöker du/ni någon geopark framöver och kan förmedla dina intryck till oss? Det skulle vara jättespännande att höra vad du/ni tyckte om besöket!

Mejla till Barbara Wohlfarth: *barbara@su.geo.se* eller redaktionen: *gff@su.geo.se*

Berättelsen om järnet från Disko

Redan 1819 rapporterades om gediget järn från Grönland.

TEXT / KARTA Dan Holtstam

Järn är ett av de allra vanligaste grundämnena i jordskorpan (efter syre, kisel och aluminium), det förekommer med en genomsnittlig halt av cirka fem procent. Järnet är, tekniskt och ekonomiskt sett, viktigast av alla metaller, och man kan utan överdrift säg att vår moderna civilisation inte skulle kunna existera utan det.

Till skillnad från ädlare metaller, som koppar, silver och guld, uppträder järn ytterst sällan i metallisk (gediegen) form, utan är normalt kemiskt bundet i bergartsbildande mineral, främst silikater, oxider och sulfider. I de tidigaste kulturerna där järnföremål förekommit har man bearbetat fragment av järnmeteoriter, som består av nickelhaltigt järn. Omkring år 1500 f.Kr. etablerades revolutionerande metoder i Mindre Asien för att utvinna metallen direkt från malm, det vill säga naturliga koncentrationer av järnrika mineral, och den egentliga järnåldern inleddes.

All framställning av järn och stål, då som nu, bygger på reduktion av järnmineral (främst oxiderna hematit och magnetit) med hjälp av kol eller kolhaltiga föreningar, vilket formelmässigt kan skrivas:

$$2\,FeO + C \rightarrow 2\,Fe + CO_2$$

(järnet reduceras och kolet oxideras i denna reaktion). Under speciella geologiska omständigheter kan sådana reduktionsprocesser inträffa även i naturen, och det bästa exemplet på detta finns på ön Disko utanför Grönlands västkust. Sådant järn kallas telluriskt (ibland terrestriskt), och beteckningen syftar då på dess jordiska ursprung i motsats till meteoritjärn.

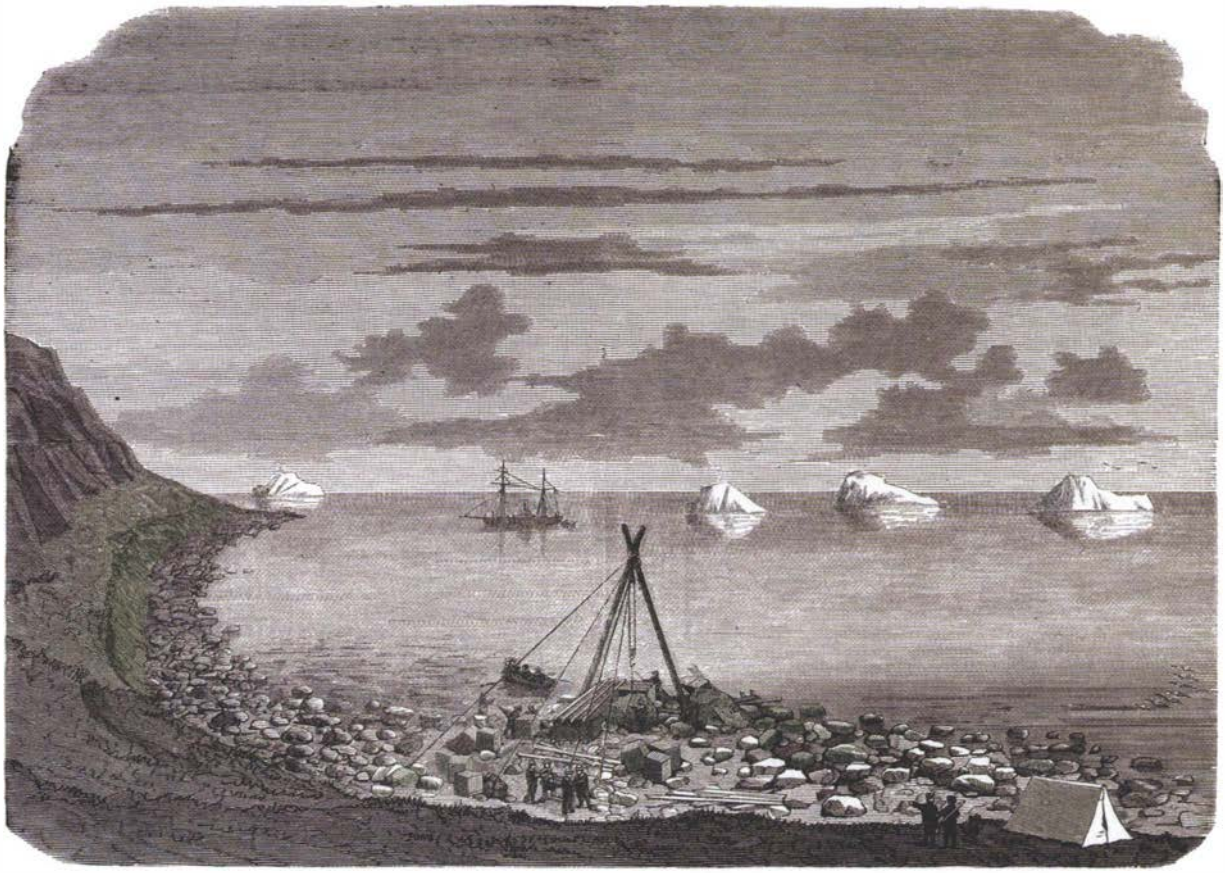
Cape-Yorkmeteoriterna

Den första rapporten om gediget järn från Grönland nådde Europa 1819. Det skulle dock dröja många år tills full klarhet rådde om dess härkomst och utbredning. Det började med byteshandel mellan deltagare i polarexpeditioner och invånarna på Västgrönland: bland annat knivar med uthamrat järn bytte ägare. De bestod av tunna blad fastsatta på valrossben, och det antogs allmänt att järnet kom från spikar och annat skrot funnet på drivved, som sedan bearbetats. Grönländarna, inuiterna, kunde dock berätta en annan historia: de for iväg med sina slädar och hämtade järn från stora block som de träffade på längs stränderna.

Flera expeditioner utrustades från europeisk sida, bland annat danska, svenska och brittiska, i syfte att återfinna dem. Ett ofta utpekat ursprungsområde fanns i nordvästra Grönland, i trakten av Thule. Det var slutligen den amerikanske polarforskaren Robert Peary som 1894–95 fann tre stora järnmeteoriter (den största med massa på 34 ton) vid Cape York (Melville Bay). Alla bar spår av mänsklig bearbetning, och de finns idag utställda på *American Museum of Natural History* i New York.

Nordenskiölds fynd

Många sporadiska fynd av mindre järnbitar från Grönland dök ibland upp med sjömän och upptäcktsresande, och mycket tydde på att en del av materialet härstammade från sydligare delar av denna jätteö. Sommaren 1870 landsteg Adolf Erik Nordenskiöld på Disko (grönl. Qeqertarsuaq) under sin första grönländska resa, för att utforska öns geologi och samla in växt-



Upplyftning av järnblocken vid Uiffaq på Diskoön, inför transport till briggen "Gladan". Tecknat av O.A. Mankell. Från Naturhistoriska riksmuseets arkiv.

fossil. Han var emellertid väl medveten om tidigare märkliga fynd av järn, och hyste själv starka förhoppningar om att hitta källområdet för dessa. Expeditionen fann den 31 augusti, efter anvisningar från en grupp inuiter som fått uppdraget att rekognoscera, flera block nära strandkanten vid Uiffaq (Blåberget, äldre stavning *Ovifak*), ett svårtillgängligt område på öns sydkust. Datumet är av viss betydelse, ty den 3 september nåddes Nordenskiöld av beskedet att fransk-tyska kriget utbrutit och återvände då skyndsamt till hemlandet. Några mindre bitar tog han dock i alla hast med sig på sitt valfångstfartyg.

Året därpå utrustades en särskild expedition från Sverige, med kanonbåten *Ingegerd* och briggen *Gladan* under F.W. von Otters befäl, i syfte att bärga några av de riktigt stora exemplaren. De anlände till Stockholm ombord på Gladan på hösten 1871. Det största, vägandes cirka 25 ton, fördes i triumf genom staden till Naturhistoriska riksmuseet, som vid den tiden låg på Wallingatan, granne med Adolf Fredriks kyrka. Den 23 oktober placerades det imponerande "meteorjernblocket", som tidningarna då kallade det, i vestibulen till museibyggnaden. När museet senare flyttade till Frescati norr om staden, drogs blocket på slädar till den nuvarande förvaringsplatsen utanför den södra flygeln, dit det anlände i februari 1916. Ett par inte fullt så stora block (sex och fyra ton tunga) hamnade i Köpenhamn och Helsingfors. Man kan konstatera att något tyngre järnblock än Nordenskiölds aldrig hittats, och att det skulle dröja ända till 1985 innan ett i en någorlunda matchande viktklass (cirka tio ton) kom att upptäckas, då på en plats cirka 70 kilometer norr om Uiffaq.

"Meteoriterna" från Disko är jordiska

Det var Nordenskiölds fasta övertygelse från början att detta rörde sig om stora järnmeteoriter, och han tog den föreställningen med sig i graven, trots att det med tiden kom fram flera fakta som motsade hypotesen. Man noterade tidigt att mindre mängder järn i form av små metallkorn fanns spridda här och var i den basalt av tertiär ålder, som till del bygger upp Västgrönland (basalt är sträng taget en vulkanisk bergart, men används här även för att beteckna inte allt för djupt liggande gångar). Den upptäckten fick Nordenskiöld att dra den extrema slutsatsen att den färska basaltlavan utsatts för ett omfattande meteoritbombardemang någon gång under miocen.

Senare undersökningar av geologer och metallurger har med tiden grundlagt en annan modell för bildning av järnmetall på Grönland (vid sidan av de meteoriter som ju faktiskt finns där). Berggrunden på Disko med omnejd är uppbyggd av omväxlande skikt av basalt och sedimentära lager, av vilka de senare består av

Bild 2. Provborrningen av det stora järnblocket från Uiffaq, Disko, genomfördes den 3 mars 1938. Mannen på bilden är Albin Nilsson, borrförman på Svenska Diamantborrnings AB. Foto: Svenska Dagbladet, 1938.

sand, lera och kolhaltigt organiskt material. Den framträngande heta basaltiska magman har innehållit stora mängder järn löst i smälta. Vid kontakt med kol från sedimenten har järnet, lokalt i stor omfattning, kunnat reduceras till fri metall, som på grund av sin "oblandbarhet" med den resterande silikatrika smältan bildat sammanhängande droppar (jämför hur olja beter sig i vatten!). Dessa har i sin tur klumpat ihop sig till större massor som slutligen stelnat med hela bergarten. De bildade metallaggregaten har varit mer beständiga än omgivande material, och större och mindre block har med tiden frilagts genom erosion och vittring av basaltbergen.

Ytan på det stora blocket vid Naturhistoriska riksmuseets fasad är naturligen täckt av rost, men 1938 gjorde man en borrning och tog ut friska kärnor från en horisontell, nära två meter lång kanal genom blocket, för närmare undersökning. Arbetet tog lång tid på grund av metallens hårdhet och seghet; efter en hel dags bearbetning av blocket med diamantborr hade man bara trängt in 60 centimeter. Borrkärnorna är än idag bevarade i museet, och förvaras i förseglade glasampuller. Materialet är ganska heterogent, men består främst av kol- och nickelhaltigt järn (2-4 procent C, 1–3 procent Ni). Det finns också mindre mängder silikat- och sulfidmineral i det. En observation man gjort är att järnstycken som förvarats inomhus, utan skyddande inkapsling, långsamt sönderfaller, till skillnad från dem som konstant är utsatta för väder och vind. Det beror sannolikt på att vattenhaltiga järnsilikater inuti proverna minskar i volym och därmed spricker, i torr luft.

Hur kan man då vara så säker på att metallklumparna från Disko inte är järnmeteoriter, frånsett den tydliga associationen med basalterna? Järnmeteoriter innehåller som sagt även de nickel i varierande, dock undantagslöst högre koncentrationer (5–16 procent). Meteoritjärn uppvisar också en speciell textur, med så kallade Widmannstättenfigurer, som är ett resultat av att metallen svalnat ytterst långsamt. Diskojärnet har däremot bildats relativt hastigt enligt moderna metallurgiska undersökningar. Järnmeteoriterna, som ursprungligen har varit delar av kärnan i småplaneter (asteroider), indelas i olika grupper efter sitt innehåll av olika element, främst iridium (Ir), gallium (Ga) och nickel (Ni). Diskojärnet faller utanför dessa i sin sammansättning.

Missad chans för vikingarna på Grönland?

Det kan i sammanhanget vara intressant att nämna att det föreligger arkeologiska bevis som pekar på att en bidragande orsak till att nordbornas bosättningar på Västgrönland efter mer än 350 år slutligen föll samman i mitten på 1300-talet var en svår brist på järn (J. Diamond, 2004: *Collapse: How societies choose to fail or succeed*). Detta som en konsekvens av att handelsförbindelserna med Europa skurits av och att det teknologiska kunnandet att framställa metall på egen hand var begränsat.

Det kan uppfattas som en ödets ironi att det från ett av dessa vikingaättlingars huvudsamhällen, Västerbygden vid Godthåbsfjorden, bara är 50 mil till Disko med de unika förekomsterna av telluriskt järn. Emellertid är det enda "inhemska" järnföremål som påträffats vid bosättningen en pilspets tillverkad av meteoritjärn av Cape-Yorktyp, det vill säga sannolikt en inuitartefakt. I inuitboplatser och -gravar från mellersta Västgrönland, däremot, har man funnit bland annat knivar med blad av telluriskt järn (V. F. Buchwald, 2001: *Ancient iron and slags in Greenland*). Diskojärnet är på grund av hög kolhalt ofta inte direkt lämpat för smide (det motsvarar närmast då ett sprödare så kallat tackjärn), men stycken med de lägsta halterna borde vara fullt användbara.

DAN HOLTSTAM är docent vid Stockholms universitet och forskningssekreterare på Vetenskapsrådet.

1-2 juni 2006. Geologiska Föreningen höll årsmöte med efterföljande föredrag och middag. Dagen därpå var det dags för exkursion.

Rörö - en exkursion i skärgården

TEXT Joakim Mansfeld
FOTO Mark Johnson, Pär Weihed

Göteborgs skärgård är en utmärkt plats att se hur inlandsisen och havet påverkat landformerna. De vind- och vågutsatta öarna ger också en bra inblick i hur berggrunden i denna del av landet ser ut. Kort sagt, en passande plats för exkursion.

Efter en bussresa och två färjeturer gav våra utmärkta guider; *Rod Stevens, Olof Larsson, Per Wedel, Mats Olvmo, Fredrik Klingberg, David Cornell* och *Mark Johnson* oss en inblick i skärgårdens bildning och utveckling. På resan ut från Göteborg fick vi de storskaliga dragen i berggrundens former och inlandsisens avsmältande förklarade för oss. Rörö gav ett något kyligt och blåsigt mottagande, men det gjorde inget eftersom ön ändå erbjöd mycket varierad geovetenskap.

Vi fick se de förgnejsade sedimentära bergarterna som utgör den äldsta berggrunden på västkusten. Sediment som för omkring 1 600 miljoner år sedan avlagrades i en havsbassäng i närheten av en äldre kontinent. På norra delen av Rörö genomsattes dessa sedimentära bergarter av basiska bergarter som bildades då den gamla havsbassängen började spricka upp för omkring 1 550 miljoner år sedan. Vi fick även en ordentlig genomgång av israndsläge som bildades då inlandsisen började dra sig tillbaka norrut för omkring 18 000 år sedan. Den maringeologiska bilden demonstrerades på kartor och skisser; havsströmmar och vågor omformar ständigt avlagringarna från istiden. Landhöjningens effekter syns tydligt på västra sidan av ön där klapperstensfält och gamla strandlinjer utgör grunden för den sparsamma växtligheten av trift, strandkål och violer.

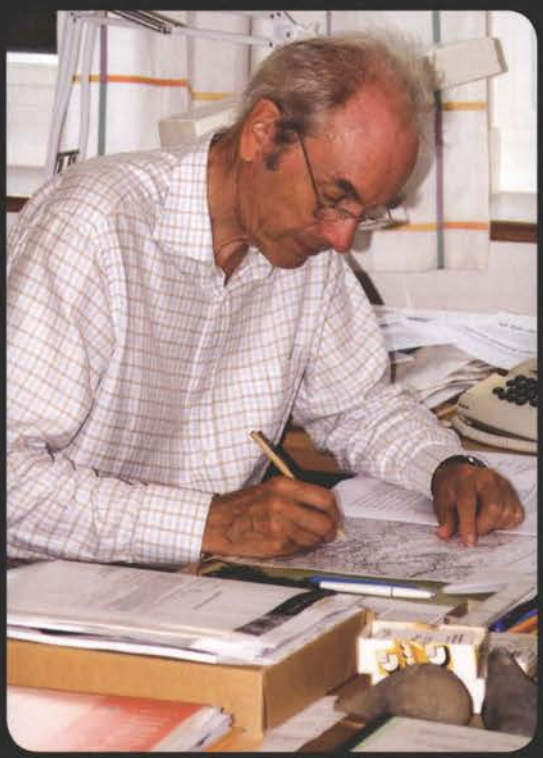
Lunchen intog vi i en vindskyddad, men underlig, skogsdunge av förvridna dvärgtallar. En skattletarjakt på exotiska stenar och block i klapperstensfälten ingick även i programmet. Vi hittade bland annat flinta och kambrosiluriska sedimentära bergarter. Långväga gäster från havet norr om Danmark, eller från Västergötlands platåberg?

Det var sammantaget, kort sagt, en mycket lyckad exkursion. Till slut vill jag, å alla deltagares vägnar, rikta ett stort tack till studenter och forskare vid Geovetarcentrum och Sveriges geologiska undersökning i Göteborg. Vi som deltog i aktiviteterna på Geologiska Föreningens årsmöte, med dels bra föredrag och delikat middag och dels en intressant exkursion – ångrar inte att vi var med!

/ Joakim Mansfeld är doktor i geologi och geokemi vid Stockholms universitet, ansvarig utgivare för Geologiskt forum och redaktör för den vetenskapliga tidskriften GFF.

Ett sällsynt välbevarat exemplar av trilobiten Megistaspidella heroica från ordovicium i Östergötland. Längd 92 millimeter. Foto: Mikael Axelsson.

Jan Bergström emottog Geologiska Föreningens Angelinpris 2006



Jan Bergströms avhandling på 1970-talet handlade om trilobiternas liv, morfologi och systematik. Framgångsrikt har han sedan dess bland annat arbetat med den tyska Hunsrückfaunan (från devon) samt sedan 1989 med den kinesiska faunan i Chengjiang (från kambrium) som är världens äldsta, välbevarade fauna.

Angelinpriset 2006 inom allmän och systematisk paleontologi tilldelades professor emeritus Jan Bergström som vigt i princip hela sitt yrkesverskamma liv åt paleontologiskt arbete . Vid det här laget har han skrivit cirka 160 vetenskapliga publikationer om fossil och djurens evolution.

Jan Bergström är född 1938 och uppvuxen i Halmstad. 1973 disputerade han vid Geologiska institutionen, Lunds universitet (från början Paleontologiska institutionen). Fram till 1978 arbetade han som docent vid samma institution. 1978-1989

KALENDARIUM

15-16 september *firas Geologins Dag i Sverige. Invigningen sker i SKB:s (Svensk Kärnbränslehantering AB) regi i Äspölaboratoriet, fredagen den 15 september. Arrangör: Föreningen för Geologins Dag (mer info på sista sidan av tidningen och på hemsidan www.geologinsdag.nu).*

16 september, kl 14,00, Hörsalen. *Föredrag på Naturhistoriska riksmuseet. Jaana Vuorinen, fil. dr. i geologi och geolog vid Sektionen för Mineralogi, berättar om fältarbetet på och vid en vulkan i Afrika. Titeln är: "Närkontakt med vulkaner – en resa till Oldoinyo Lengai, Tanzania".*

17-21 september, *Belfast, Northern Ireland: Geoparks 2006, SECOND UNESCO INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOPARKS. "Celebrating Earth Heritage – Sustaining Local Communities"*

18-20 oktober, *internationellt seminarium om bergsbruk. Arrangör Bergskraft, mer att läsa på www.bergskraft.se*

arbetade han som statsgeolog, senare som 1:e statsgeolog samt som avdelningschef vid Sveriges geologiska undersökning. 1998-2005 var han professor vid Sektionen för paleozoologi vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm.

– Jag har alltid drivits av nyfikenhet. Dessutom har jag på sätt och vis haft turen på min sida. Det var fantastiskt att på 1970-talet få frågan av Wilhelm Stürmer, som var chef för ett av Siemens forskningslaboratorier, men som även studerat paleontologi, om jag ville vara med och tolka och beskriva den tyska Hunsrückfaunan.

– Stürmer gjorde 10 000-tals röntgenplåtar av fossil, ofta i stereo så att man kunde se fossilen tredimensionellt inne i skiffern.

I slutet av 1980-talet fick Jan frågan om han ville arbeta med den kinesiska Chengjiangfaunan, ett arbete som pågår allt sedan dess.

I början rådde stor uppståndelse.

– Det är världens äldsta, välbevarade fauna och det har varit väldigt lärorikt att studera den, säger Jan Bergström som rentav hamnade på New York Times framsida med anledning av att faunan i Kina är så unikt välbevarad.

– Evolutionen försökte fylla ut de nischer som fanns. Faunan uppvisar en explosion av olika former, som trots sina olikheter kan vara nära släkt med varandra ända.

– Men det är ett retfullt arbete för oss som sysslar med systematik, linjer bryts hela tiden och parallelutveckling är snarare regel än undantag. Det gäller att hitta ett annat sätt att se på klassifikationen än den som gäller idag. De kambriska leddjuren hade inte käkar, möjligen gripverktyg, och de åt troligen bottenslam.

– Det har blivit nära ett tjugotal resor hittills, säger Jan som mellan 2005 och 2009 dessutom är gästprofessor vid Yunnan University i Kunming, Yunnan, Kina.

Angelins pris delades ut i samband med Geologiska föreningens årsmöte i juni. Jan Bergström blev överraskad och glad över utnämningen.

– Det är alltid roligt att få positiva omdömmen, inom vetenskapen blir det ju annars lätt så att man främst hör kritiken.

Tidigare har Jan för sitt vetenskapliga arbete förärats minnesmedaljen i guld, samt Assar Haddingpriset, från Kungliga Fysiografiska Sällskapet i Lund, liksom det Björkénska priset från Uppsala universitet.

Privat är Jan Bergström gift och han har två barn och två barnbarn. Att resa och att paddla havskajak är kära fritidsnöjen när tiden tillåter.

– Jag är även intresserad av släktforskning, historia och arkeologi.

NOTERAT

★ Stort eller litet guldfynd? Familjen Guldström, som driver guldvaskningen/turistanläggningen i småländska Ädelfors, har hittat guld vid den gamla guldgruvan. Familjen som redan tidigare har inmutat området, anlitar nu gruv- och prospekteringsföretaget IGE för att göra närmare undersökningar.

– Det som är intressant i detta skede är att få veta halten guld i själva berggrunden. I tre av de stenar som hittills påträffats ovan jord finns mer än 100 gram guld per ton och i en stuff finns mer än 550 gram per ton, berättar Rolf Guldström på Guldström & Co AB.

★ Ett nytt pris. Dick Lindzen som är *Alfred P. Sloan Professor of Atmospheric Science* vid Massachusetts Institute of Technology, MIT, i Boston, tilldelades i maj det nyinstiftade Leo Prize for Independent Thinking. Motiveringen var att han bedriver excellent klimatforskning och ger en "tänkvärd och balanserad syn på vårt klimatsystem och dess utveckling".

Priset har instiftats av Gösta Walin, professor emeritus i oceanografi, Geovetarcentrum i Göteborg. Mer att läsa på www.leoprize.org.

★ Gruvlig oro. Med hänsyn till närboendes rädsla för dammbrott, anser miljödomstolen vid Umeå tingsrätt, att Bolidens ansökan om att få anlägga ett nytt sandmagasin för anrikningssand, strider mot miljöbalkens andra kapitel, paragraf fyra. Det nuvarande sandmagasinet, som är en uppdämning av sjön Gillervattnet, är på väg att slutfyllas och bolaget vill nu bygga ett nytt magasin, helst i anslutning till det gamla. Bolagets ansökan gällande just detta val av lokal - har dock blivit avslagen. (*Mål nr M 2009-04*).

Om kreationism och intelligent design – kontra naturvetenskap

Big Bang eller Varde ljus? Skapelsemyten som pseudovetenskap är skriven av Maria Gunther Axelsson och utgiven av Wahlström & Widstrand, 2006. Cirkapris 150 kronor. 137 sidor.

Detta är delvis en insiderbok. Författaren och vetenskapsjournalisten Maria Gunther Axelsson har själv varit kreationist. Förut. Det vill säga tillhört den grupp av människor som inte skriver under på evolutionsteorin och hävdar – allt ifrån att jorden skapades på sex dagar någon gång för 6 000 till 10 000 år sedan – till att det i alla fall måste finnas en intelligent kraft bakom växt- och djurlivets komplexitet och mångfald.

Hon gick ut naturvetenskaplig linje på gymnasiet med toppbetyg. Och fortsatte att läsa naturvetenskap på universitetet, fortfarande med sin kreationistiska tro intakt. Eller kanske började den ruckas något?

I boken Big Bang eller Varde ljus? Skapelsemyten som pseudovetenskap skriver författarinnan att det var först när hon själv var på god väg att bli doktor i partikelfysik som hon gjorde upp med kreationismen för gott. För att i stället både intellektuellt och i själ och hjärta anamma den vetenskapliga världsbilden: där pusselbitar från vardera fysiken, kemin, geologin och biologin tillsammans bildar helheten.

Boken känns som ett nyanserat debattinlägg. Tonen är inte arg eller rabiat utan ganska varm, om än stundtals allvarlig. För kreationisterna är inte ofarliga, de är välorganiserade, har inflytande i politiken, och inte minst, i enskilda människors liv. Maria Gunther Axelsson förstår varför människor kan bli/vara kreationister - ytterst handlar det ju för dem om att evolutionsläran leder människorna mot helvetet. Samtidigt smular hon sönder alla argument om universum och världsaltet som INTE bygger på bigbangteorin eller annan vetenskaplig teoribildning.

I boken, med kapitel som klargör vad som är vetenskap respektive kreationism, hur universum undersöks och hur universum har kunnat uppstå, medverkar även Per Kornhall, doktor i systematisk botanik och gymnasielärare, med ett avsnitt som handlar om Livets historia.

Sammantaget är detta välskrivet och intressant. Den obegripliga (i alla fall för mig) kreationismen blir lite mer begriplig. Och jag har fått mer förståelse – samtidigt som jag med större kraft får hjälp att ta avstånd från pseudovetenskap av det här slaget.

Allt om vårt högsta berg?

Kebnekaise är skriven av Pär Axelstjerna och utgiven av Natur och Kultur, 2006 Cirkapris 200 kronor. 147 sidor.

Kebnekaise är inte bara en fotobok. Inte heller en tung faktabok. Kanske mer en inspirationsbok? Omslaget går i blå ton, men känslan efter att ha läst kapiteltexterna och tittat på alla vackra fotografier – är hjärteröd. Visst är det med kärlek som Pär Axelstjerna skildrar Kebnekaisemassivet och dess omgivningar.

Sveriges högsta topp kan inte bättre beskådas än från lite distans – skriver denne naturfotograf och författare, och kanske har han rätt? Samtidigt genomsyras sidorna, oavsett om det handlar om text eller bilder, av kunskapen hos en som själv bestigit dess höjder.

För alla som vill lära känna detta bergsområde är boken *Kebnekaise* en fin start. Men även den som redan varit gäst i området kan finna glädje i boken. Njuta av fotografierna. Snöklädda fjällkammar, Syd- och Nordtoppen, Fjällstationen, Tarfaladalen, glaciärer, moräner, blockmarker, sjöar och vattendrag. Samt smaka på texterna, personligt skrivna, lättlästa och informativa. Det är en ganska "lagom" bok helt enkelt.

Och för den geovetenskapligt intresserade är det tillfredsställande att se att boken förutom att handla om leder, fjällturer, de första pionjärerna och dagens bestigare, även innehåller trevliga, om än kortfattade, avsnitt som Fjällkedjans bildande, Forskningsstationen i Tarfala och Glaciärer på glid. Liksom det finns avsnitt om flora och fauna och urbefolkningen inte minst.

I denna bok finns om inte allt – så i alla fall en hel del att läsa om vårt högsta berg. Ja, man får god lust att lämna vardagen och styra kosan... mot just Kebnekaise, illa kvickt!

Geologin finns runt omkring oss

När jag skriver dessa rader befinner jag mig i en liten stuga, strax utanför en bergsby på 2700 meters höjd i södra Mexico. Här är geologins roll påtaglig. Jag ser ut över imponerande, branta gröna slutningar, djupa dalar och frodiga slättmarker. Den smala vägen som leder till byn löper längs en mycket brant sluttning med lösa vulkaniska jordarter. Då och då, när stora skyfall inträffar, täcks hela vägen av skredmassor eller också spolas stora delar av vägen bort och därmed också människornas förbindelse till "civilisationen". Geologin ställer till stora problem för befolkningen i de små bergsbyarna, men är en välsignelse för människorna på slätten, där alla slags växter frodas tack vare jordarter som har bildats under miljoner år av vulkanism och vittring och tack vare klimatet som gör att man kan odla året runt.

I den här byn är det ofarligt att dricka kranvattnet. För Mexiko är detta närmast ett undantag. På andra ställen går det nämligen inte att dricka vattnet eftersom det är så förorenat och människorna är tvungna att köpa sitt dricksvatten istället. En gång besökte jag en miljonstad vars välfärd bygger på att utvinna silver. Vattnet i staden är så förorenat att det inte ens går att använda för att tvätta sig i. Vattnet som egentligen borde vara en självklar och gratis resurs för alla människor på Jorden har blivit en ekonomisk vinst för somliga. Medan andra faktiskt inte ens har råd att köpa sig rent vatten.

Allt sedan mitt första besök i Mexiko vördar jag kranvattnet som rinner hemma i Sverige. Varje morgon när jag går upp och tvättar mig, tänker jag på hur värdefullt rent vatten är och undrar samtidigt hur många som är medvetna om detta i vårt land?

Att geologin har stor betydelse för ett land som Mexiko med sitt stora utbud av geologiska resurser är lätt att inse, men hur stor är geologins roll för ett land som Sverige? Mycket stor! Hela Sveriges välfärd bygger på geologi och geologiska resurser: Bergslagens och Kirunas malm- och mineralfyndigheter, glastillverkningen i Småland eller stålindustrin som ledde till Sveriges ekonomiska expansion och välfärd under 60- och 70-talen. Och idag blomstrar malmprospekteringen igen!

Men var finns länken till geologin i vårt dagliga liv? Ja, även den finns - från morgon till kväll. Har du någon gång funderat över varifrån vattnet kommer som du tvättar dig i på morgonen? Det kanske kommer från en rullstensås, som i sin tur bildades av den stora inlandsisen under slutet av senaste istiden. Handfatet du tvättar dig i består bland annat av kaolin, fältspat och kvarts och spegeln du tittar i innehåller kvartssand och kvarsit, mineraler som utvinns från bergrunden. När du sedan lagar din frukost finns ännu mer geologi runt omkring dig: plast som utvinns av olja, diskbänken som består av stål, el som utvinns av uran, olja och gas. Kaklet på väggen är gjort av lera, och porslinet och glasen på frukostbordet är framställda av geologiskt råmaterial. När du sedan låser dörren bakom dig och ger dig i väg till jobbet eller till skolan har du då någonsin tänkt på att nästan allting omkring dig även här består av geologiskt material? Gatstenarna, asfalten, tegelpannorna, takrännorna, byggstenarna, fönstren, bilarna, cyklarna, trafikskyltar, datorerna, pennorna och mycket, mycket mer. Maten som står på bordet – även den beror på hur lämpliga jordarterna är för odling. Och odlingslandskapets utbredning hänger ihop med förekomsten av finkorniga jordarter som i sin tur beror på vilka bergarter som förekommer i berggrunden, hur mycket inlandsisen eroderade och omformade sitt underlag och vilka delar av landet som låg under havets eller Östersjöns yta under isavsmältningen.

Även den lilla röda ovagen vid en fin lummig sjö, som är drömmen för många svenskar, har fått sin prägel av geologin. Den röda färgen kommer från koppargruvan i Falun. Den lilla lummiga sjön bildades i slutfasen av den senaste istiden genom att inlandsisen eroderade sitt underlag eller lämnade dödis kvar som sedan smälte av och däfigenom bildade en sänka. Höga Kusten, som är ett av våra unika världsarv, är resultatet av nedisningen och efterföljande landhöjningen, och vad vore fagra Gotland eller Öland utan sin mycket speciella geologi?

Geologi är med andra ord mer än dinosaurier, fina fossil, mineraler eller smyckestenar, guld och silver, platina och diamanter. Nästan allt vi använder i vårt dagliga liv härstammar från geologiska råmaterial och utan det skulle vårt liv vara så mycket fattigare.

Många pratar idag om ett uthålligt samhälle, om ett nyttjande istället för utnyttjande. Det som behövs för att bygga ett uthålligt samhälle är i högsta grad välutbildade människor, människor som kan och förstår sig på geologi och som kan bidra till att resurser nyttjas på ett ansvarsfullt sätt. Utan en allsidig geologisk utbildning och utan förståelse för de processer som skapade vår jord och våra resurser, är det inte möjligt att åstadkomma ett ansvarsfullt nyttjande som ska utgöra grunden för ett uthålligt samhälle.

Skrivet i San José de Pacifico, Oaxaca, Mexico, 2 juli 2006.

/ Barbara Wohlfarth, ordförande i Geologiska Föreningen och professor i kvartärgeologi, Stockholms universitet.

POSTTIDNING B

Geologiska Föreningen
Institutionen för geologi och geokemi
Stockholms universitet
106 91 Stockholm

GEONYTT

På denna sida upplåter Geologiskt forum kostnadsfritt plats för information som är relevant för föreningens medlemmar eller geointresserad allmänhet. Har du något du vill tipsa om hör av dig till redaktionen senast 1 november. Nästa nummer av tidningen kommer ut i december 2006.

BOKMÄSSAN I GÖTEBORG

Geologiskt forum medverkar på bokmässan i Göteborg den 21-24 september. Tidskriften kommer att finnas till salu – plus att vi lämnar ett förmånligt mässerbjudande för den som vill prenumerera framöver – i kulturtidskrifternas monter B04:04. Välkommen!

GEOLOPPIS

KÖPES: Mineralsamling. Stort intresse för äldre mineralsamlingar. Även etiketter, askar och gärna förvaringsmöbel för mineral. Äldre mineralböcker och undervisningsmaterial för mineralogi önskas. Tel. 0584-20041 e-post: urban.strand@hotmail.com

KÖPES: Äldre geologisk litteratur (mineralogi, petrologi, malmgeologi, paleontologi, kvartärgeologi mm), gärna småtryck och särtryck. Tel. 08-5195 4076, el. 0295-301 61 (kvällstid).

KOMMANDE NUMMER

Geologiskt forum nr 52 kommer ut i december.
Exempel på artiklar som kommer att vara med:

- Vad gör en Eurogeolog?
- Fältarbete vid och på en vulkan.
- Grängesberg gruva - en järnmalms uppgång och fall.

Hör av dig till Anna Kim-Andersson tel 075-770 96 10, mobil 0708-20 50 10 om du är intresserad av att medverka som skribent, eller har tips och idéer på artiklar/notiser.

Geologiska Föreningens styrelse 2006

Barbara Wohlfarth, *ordf., Inst. f. naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet, 10691 Stockholm, tel. 08-164883; barbara.@geo.su.se*
Mikael Calner, *sekreterare, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 22362 Lund, tel. 046-2227379; mikael.calner@geol.lu.se*
Åsa Frisk, *skattmästare, Institutionen för geovetenskaper, Villavägen 16, 752 36 Uppsala, tel. 018-4712740; asa.frisk@geo.uu.se*
Joakim Mansfeld, *redaktör, Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 10691 Stockholm, tel. 08-6747727; gff@geo.su.se*
Mark Johnson, *ledamot, Geovetarcentrum, Göteborgs universitet, Box 460, 40530 Göteborg, tel. 031-77302808; markj@gvc.gu.se*
Pär Weihed, *ledamot, Luleå tekniska universitet, 97187 Luleå, tel. 0920-491371; par.weihed@sb.luth.se*
Linda Wickström, *ledamot, Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 75128 Uppsala, tel. 018-179313; linda.wickstrom@sgu.se*