

GEOLOGISKT FORUM

Nr 101 ♦ 2019



Kritiska råvaror

Drönare förenklar jobbet

**Stockholmsgraniten
- hur gammal är den?**

Recension: Timefulness

GEOLOGISKT FORUM

Nr 101 ♦ 2019

ISSN 1104-4721

Ansvarig utgivare: Pär Weihed

Redaktör:

Jeanette Bergman Weihed
tel. 070-3724828
e-post: jeanette@tellurit.se
För text, layout och bilder svarar redaktören där inget annat anges.

Redaktionens adress:

Geologiska Föreningen
c/o Tellurit AB,
Storgatan 11,
972 38 Luleå
e-post: info@geologiskaforeningen.se

Omslagsbild: Luleå tekniska universitets drönare Hugin kan bland annat användas för att fotografera berggrunden och markytan och för att mäta magnetiska egenskaper. Här ser man styrcentralen och piloten Joel Andersson. Läs mer om vad man kan ha drönare till inom geologi på sidan 4. Foto: Tobias Bauer.

Upplaga: 500 ex.

Tryckeri: Elanders Sverige.

Ordinarie lösnummerpris: 75 kr.

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

För dig som är medlem i Geologiska Föreningen ingår tidningen i det ordinarie medlemskapet. Som medlem har du också tillgång till tidningen som pdf samt ett digitalt arkiv. Man kan också lösa en årsprenumeration av tidningen. Läs mer på vår webbplats.

Ange namn, adress och e-postadress vid betalning till vårt Plusgiro 2108-9 eller Bankgiro 749-6359. Du kan också betala direkt med kort på vår webbplats www.geologiskaforeningen.se

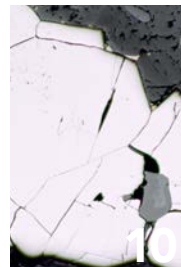
Tidningen publicerar sedan starten år 1994 populärvetenskapliga artiklar inom geovetenskapens alla områden.

Välkommen att kontakta redaktören om du vill medverka i Geologiskt forum. Författarna svarar själva för innehållet i sina artiklar. Nästa nummer av Geologiskt forum kommer i juni 2019.

Geologiska Föreningen

I DETTA NUMMER

- 3 Drönare och kritiska råvaror
- 3 Pääbo föreläste om neandertalare och hur de lever vidare idag
- 3 LKAB investerar i pilotanläggning
- 4 Drönare i geologins tjänst
- 8 Intressanta diskussioner om kritiska metaller och mineral
- 9 Ny mineralutställning på gång
- 10 SCRREEN: mer kunskap om kritiska råvaror i Europa
- 14 Recension: Tänkvärt i Timefulness
- 17 LYSTRA – Att utveckla ett geologiskt världsarv
- 21 Nya styrelseledamöter
- 22 Hur gammal är Stockholmsgraniten?
- 26 Bland malmmineral, elektroner och laserstrålar
- 28 Minnesord – Robert Lagerbäck
- 30 Minnesord – Harald Agrell
- 31 På gång
- 31 Magnetiska nordpolen flyttar sig mer än förväntat
- 31 Luleå tekniska universitet avslutar sitt samarbete med Bergsskolan



Drönare och kritiska råvaror

I många delar av landet har vintern nu släppt sitt grepp. Dock inte här i Luleå där snön fortfarande ligger djup.

Det här numret av Geologiskt forum handlar en hel del om kritiska metaller och mineral, och vad som görs för att hitta sådana och utvinna dem. I takt med att ny teknologi utvecklas uppstår nya behov av råvaror som man inte tidigare haft så mycket fokus på. Då kan det kännas bra om vi i Sverige kan bidra till att också producera sådant som vi behöver inom industrin och minska importberoendet, inte bara i Sverige utan i hela Europa.

Drönare används numera för allt fler ändamål, och i en artikel berättar

forskare i Luleå om hur de använder drönare för att underlätta geologisk kartläggning. Framför allt underlättar tekniken när man vill skapa sig en bild av geologin där det är svårt att komma åt, till exempel på grund av säkerhetsrisker.

Vad kan egentligen allmänheten om geologi? Eller kanske särskilt de som besöker Naturhistoriska riksmuseet på Geologins Dag? I en tävling som anordnades fick besökarna gissa på hur gammal den nyligen omdaterade Stockholmsgraniten är. Påfallande många gissade på en ålder nära den riktiga åldern men spannet i åldrar var mycket stort. Man kan dock konstatera att det åtminstone bland

besökarna på Geologins dag finns viss kunskap om geologi, eller så var de duktiga på att googla fram ett rimligt svar.

Världsarv behöver också utvecklas, även efter att de utsetts till världsarv. Därför bedrivs just nu ett projekt där man vill förbättra den geologiska informationen om Höga kusten och Kvarkens skärgård. Mer om detta och vad man vill uppnå kan du läsa om i tidningen.

Höga kusten är det enda svenska världsarvet som har utpekats på geologiska grunder, även om det så klart finns en geologisk koppling också i till exempel Laponia och Falun. Men förhoppningsvis kan det bli fler geologiska världsarv i fram-

tiden. Arbete pågår ju på åtminstone ett par håll i Sverige.

Nästa nummer av tidningen kommer strax före midsommar. Till dess får jag önska er en trevlig vår, med förhoppningen om att ni får möjlighet att uppleva något intressant geologiskt. ♦

Jeanette Bergman Weihed,
redaktör

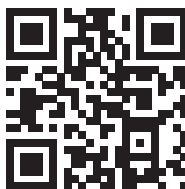


FOTO: PLOS (CC BY 3.0)

Pääbo föreläste om neandertalare och hur de lever vidare idag

I mitten av mars höll Svante Pääbo en öppen föreläsning på Kungliga Vetenskapsakademien om neandertalarna och Denisova-människorna och om hur deras gener lever vidare idag. Analyser har visat att de bidragit genetiskt till alla nu levande människor som har genetiska rötter utanför Afrika. Pääbo beskrev bland annat vad vi idag vet om vilka funktionella och medicinska konsekvenser det genetiska bidraget från dessa utdöda människoformer har idag.

Du hittar föreläsningen på KVA:s hemsida (www.kva.se/sv/kalendarium/om-neandertalare-och-hur-de-lever-vidare-idag) eller via QR-koden till höger. ♦



LKAB investerar i pilotanläggning

I samband med LKAB:s järnmalmsproduktion deponeras idag en sandliknande restprodukt som innehåller apatit, som i sin tur också innehåller sällsynta jordartsmetaller. LKAB satsar nu 45 miljoner kronor i en fortsatt förstudie för att tillsammans med Easy Mining, ett dotterbolag till Ragn-Sells, utveckla två pilotanläggningar för att tillvarata fosfor och sällsynta jordartsmetaller från apatiten.

Enligt labbtester som bedrivits under året kan man producera mer fosfor och sällsynta jordartsmetaller än vad man tidigare beräknat, enligt Jan Moström, vd på LKAB. En av pilotanläggningarna hamnar i Malmfälten och där ska man producera apatit från avfallssanden. Den andra pilotanläggningen förläggs till Uppsala och där separeras apatiten till ren mono-ammoniumfosfat och sällsynta jordartsmetaller.

Vid etablering av en fullskalig industri förväntas produktionen av mono-ammoniumfosfat uppgå till 500 procent av Sveriges behov och produktionen av sällsynta jordartsmetaller uppgå till cirka 2 procent av världsproduktionen. Pilotfasen kommer att pågå till och med 2020. Därefter kan ett beslut om investering i fullskalig produktion tas. I likhet med pilotanläggningarna kommer en del av den fullskaliga produktionen vara förlagd till Malmfälten medan nästa förädlingssteg kommer att ske vid annan ort. ♦

Källa: LKAB.



Drönare i geologins tjänst

På många sätt kan man säga att det råder drönarhysteri i samhället i stort. Var och varannan person har nu en drönare hemma som man mest använder till att fotografera. Men vad kan man faktiskt ha för nytta av drönare inom geologin? Och hur kan de hjälpa till i olika forskningsprojekt?

TEXT: JOEL ANDERSSON & TOBIAS BAUER

PÅ LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET (LTU) har vi inom forskningsämnet malmgeologi nyligen investerat i två drönare i olika storlekar för att använda vid geologiska undersökningar inom både forskning och undervisning.

Med hjälp av kameror som är monterade på drönarna kan vi bygga fotogrammetriska 3D-modeller av blottat berg i olika skalor och använda dessa modeller till att kartlägga till exempel strukturer, helt eller delvis digitalt.

Drönarsystemen är del av ett virtuellt forsknings- och utbildningspaket

som arbetats fram de sista åren. Data som produceras av drönarna kan processas och analyseras i ett Virtual Reality lab vid LTU på en stor skärm med aktiv 3D-teknologi och interaktiva funktioner. Det tillåter oss att i grupp analysera flera typer av data på samma gång både interaktivt och effektivt.

Traditionellt har geologen samlat in sin information antingen direkt på marken eller från luften på relativt hög höjd med hjälp av flygplan eller helikopter. Markdata ger mer detaljerad information men täcker små

ytor. Flygdata däremot täcker ofta stora ytor men ger i stället mindre detaljer. Drönare erbjuder en möjlighet att variera detaljeringsgraden i insamlingen av data vilket gör att undersökningsprogram kan planeras och utföras betydligt mer dynamiskt än tidigare.

Två drönare med olika egenskaper

Vi har satsat på två olika drönare som kompletterar varandra. Den större drönaren (Hugin) är specialtillverkad och utrustad med en magnetometer som mäter de magnetiska egenska-



Drönaren HUGIN
på skarpt upp-
drag med magneto-
meter över Per Geijer-
malmerna i Kiruna, med
Kirunafjällen i bakgrun-
den. Foto: Maxim
Smirnov.

perna i marken samtidigt som berget fotograferas med överlappande bilder. Hugin kan bära 3,5 kg utrustning vilket ger oss relativt gott om utrymme för fler sensorer i framtiden. Hugin har också en relativt lång flygtid med last vilket gör att vi kan utföra mycket undersökning innan drönaren måste mellanlanda för att byta batteri.

Den mindre drönaren (Munin) väger mindre än ett kilo och den har fördelen att den är ihopvikbar och kan packas i en ryggsäck. Den är därför ett utmärkt komplement vid fältarbete i avlägsna och svårtillgängliga områden. Med tre batterier når den en flygtid av 1,5 timme och batterierna kan laddas med solceller. Båda drönarna kan flyga autonomt och kan självständigt skanna fördefinierade ytor.

Studenter lär sig kommande standardteknik

Vi tror att kartläggning med hjälp av drönare inom en snar framtid kommer att bli en naturlig del av geologens verktygslåda. Eftersom en del av LTU:s strategi är att utbilda studenter för framtidens yrkesroller

är vi måna om att våra studenter ska möta drönartekniken redan under sin utbildning. Studenterna på civilingenjörsprogrammet Naturresursteknik får därför använda drönarteknik inom flera delar av sin utbildning för att de ska lära sig moderna tekniker och att tolka och processa nya typer av data. I dagsläget används därför drönarteknologin som verktyg i flera examensarbeten.

Ett exempel på ett pågående examensarbete är en undersökning av en strukturellt kontrollerad tenn-wolframmineralisering i Spanien. Mineraliseringen ligger i en 400 m hög bergsvägg vilket gör den väldigt svårtillgänglig för vanlig geologisk kartering. Men med hjälp av drönaren kan studenterna samla in strukturella data som de sedan kan processa vidare i laboratoriet på LTU. Målet är att förstå strukturens inverkan på malmbildningen.

Drönare ger ny information om Pärvieförkastningen

Vid LTU finns idag flera exempel på geologiska forskningsprojekt

som använder sig av drönarteknik. Ämnesområdena varierar från strukturell geologisk grundforskning till tillämpad forskning inom både malmgeologi och bergmekanik.

I ett pilotprojekt har vi undersökt Pärvieförkastningen i nordvästra Norrbotten. Förkastningen, som ligger mellan Kiruna och Kebnekaise, är en av flera postglaciala förkastningar i norra Sverige där hög mikroseismisk aktivitet fortfarande pågår.

Tidigare har postglaciala förkastningar i Sverige karterats framför allt med hjälp av fotogrammetri på information insamlad från flygplan. Nyare studier har använt Lantmäteriets moderna högupplösta LiDAR-höjdmall för att kartlägga ytan runt de postglaciala förkastningarna.

Med högupplösta data från drönaren ser vi inte enbart hur mycket förkastningen har rört sig. Vi kan också bestämma enstaka sprickor inom förkastningens kärna och definiera förkastningsmekanismen bättre. Genom att kombinera den information vi samlar in från drönaren med



A map of northern Sweden showing the study area. The Pärve area is highlighted with red dashed lines. Surrounding areas are labeled: Narvik, Kiruna, Rovaniemi, Sorsele, Malå, Luleå, Skellefteå, and Uleåborg. A scale bar indicates 10 km.

Undersökning av spricksystem för bergmekanisk analys av erosion i en älvfåra.
Foto: David Saiang.



En annan sensorteknik som har stor potential är termalkameror. Sådana kameror monterade på drönare är redan standard inom exempelvis besiktning och räddningstjänst. Inom geovetenskap skulle man till exempel kunna använda termalkameror på drönare för att undersöka reaktiva områden i sulfidrika avfallshögar från gruvor. Termalkameror skulle också kunna användas för att undersöka temperaturvariationer i vattendrag. En känslighet i storleksordning 0,1–0,2 grader gör det troligtvis möjligt att lokalisera och studera grundvatteninflöden och artesiska brunnar.

Möjligheten att kombinera beprövade sensortekniker i luften på sätt som inte prövats tidigare erbjuder helt nya infallsvinklar på geologiska problem, både inom industrin och för forskningen. Drönare ger också tillgång till platser som tidigare varit utom räckhåll för geologen. Detaljerade geologiska observationer och mätningar kan idag enkelt göras på flera hundra meters höjd på klippväggar eller dagbrottsväggar som tidigare varit för farliga för att besöka fysiskt. Detta ger oss tillgång till helt nya observationer som tidigare generationer inte kunnat göra.

Det är just drönarnas flexibilitet och förmåga att röra sig precist och

säkert genom luftrummet som gör att vi på LTU ser tekniken som ett stort framsteg för geologisk datainsamling.

Det juridiska begränsar ännu

De begränsningar i användandet av drönarteknik som vi ser i dagsläget är snarare juridiska än tekniska. Vi har idag tillstånd att flyga drönare med en startvikt upp till 25 kg vilket ger oss gott om juridiskt utrymme att montera de sensorer vi behöver på drönaren. En begränsning idag är dock att drönaren bara får flygas inom synhåll. Det gör att ytan vi kan täcka per flygning skulle kunna vara betydligt större än vad den är idag vilket gör att själva flygningen ofta bara är en liten del av tidsåtgången i fält.

Mycket har hänt vad gäller tillstånd för drönare de sista åren i Sverige och vi är väldigt positiva till att regelverket blivit tydligare. Men än är säkerligen det sista ordet inte sagt och vi ser med spänning på vad framtiden har att erbjuda. ♦



Tobias Bauer är biträdande professor och Joel Andersson doktorand på Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser vid Luleå tekniska universitet.
joel.bh.andersson@ltu.se

DRÖNARFAKTA

Hugin (Highly useful geoinformation)

- Skräddarsydd och kan bära ca 3,5 kg utrustning.
- Högupplöst optisk kamera (20 MP).
- Upplösning vid 120 m flyghöjd ca 2 cm, vid 30 m flyghöjd <5 mm.
- Två 3-axiala fluxgate-magnetometrar.
- Kan byggas ut med flera sensorer.
- Autonom flygning.
- Upp till 35 minuter flygtid per batteri (beroende av temperatur och vindhastighet).
- Totalt 5 batterier.

Munin

- Fabrikat: DJI Mavic Pro.
- Hopvikbar och lätt (740 g).
- Kamera med 12 MP.
- Upplösning vid 120 m flyghöjd ca 3 cm, vid 30 m flyghöjd <1 cm.
- Autonom flygning och kollisionssensorer.
- Upp till 27 minuter flygtid per batteri (beroende av temperatur och vindhastighet).
- Totalt 3 batterier, kan laddas med solceller.

Titta på film om drönaren:
<https://youtu.be/R64IS6RXTZE>





Nils Jansson, från Luleå tekniska universitet, presenterade nya data om koboltmineraliseringarna i Zinkgruvan i södra Bergslagen.

Intressanta diskussioner om kritiska metaller och mineral

Ett seminarium i Uppsala i december förra året om kritiska metaller och mineral lockade många deltagare och bjöd på konstruktiva diskussioner. Seminariet organiserades av Sveriges geologiska undersökning tillsammans med Uppsala universitet och Svenska mineralogiska sällskapet.

Detta var andra gången som ett liknande seminarium arrangerades av samma organisationer och denna gång stöddes arrangemanget också av EIT RawMaterials, ett konsortium finansierat av Europeiska institutet för innovation och teknologi med uppgift att stärka konkurrenskraften inom råvarusektorn.

Efter en inledning om vad kritiska råvaror är och varför de är kritiska följde flera presentationer om olika aspekter av kritiska råvaror. Bland annat berättades om naturliga bakgrundshalter i miljön av kritiska ämnen, olika prospekteringsmetoder och typer av mineraliseringar som innehåller kritiska råvaror, och vilka möjligheter som finns att utvinna kritiska råvaror från gruvavfall och andra restprodukter.

Vi fick höra om de olika aktuella EU-projekt som pågår inom ämnesområdet, bland annat FRAME och SCRREEN. Det senare projektet kan du läsa mer om på sidan 10 i det här numret av Geologiskt forum.

Därefter presenterade inbjudna forskare från Luleå tekniska universitet, Uppsala universitet, Åbo akademi och SGU vetenskapliga resultat från studier om bland annat högkvalitativ grafit i fennoskandisk berggrund, sällsynta jordartsmetaller och deras mineraliseringar, och förekomsten av kobolt och volfram i skarn i Bergslagen.

Som uppföljning av seminariedagen planeras nu för ett temanummer av GFF om kritiska metaller och mineral, med Erik Jonsson, Nils Jansson och Olav Eklund som gästredaktörer. ♦



Anna Ladenberger är statsgeolog på Sveriges geologiska undersökning.
anna.ladenberger@sgu.se



Ny mineralutställning på gång

På Luleå tekniska universitet håller vi just nu på med att skapa en modern mineralutställning som visar den geologiska forskningen vid universitetet, men som också ska väcka intresse för prospektering och industriprocesser kopplade till mineral och metallurgi.

GRUNDEN TILL UTSTÄLLNINGEN är den omfattande mineralsamling (ungefär 16 000 stuffer) som LTU ärvde från Kungliga tekniska högskolan på 1970-talet. Samlingen och dess mångfald gör den enligt flera mineralexperter till en av de största i Sverige och den innehåller unika mineralstuffer från Sverige och resten av världen.

Vi som tillhör forskningsgruppen inom malmgeologi är medvetna om vårt ansvar att förvalta samlingen och de möjligheter som följer med en sådan gåva. Det är därför vi genomför projektet att i en ny permanent mineralutställning kunna visa ett urval av mineralstufferna.

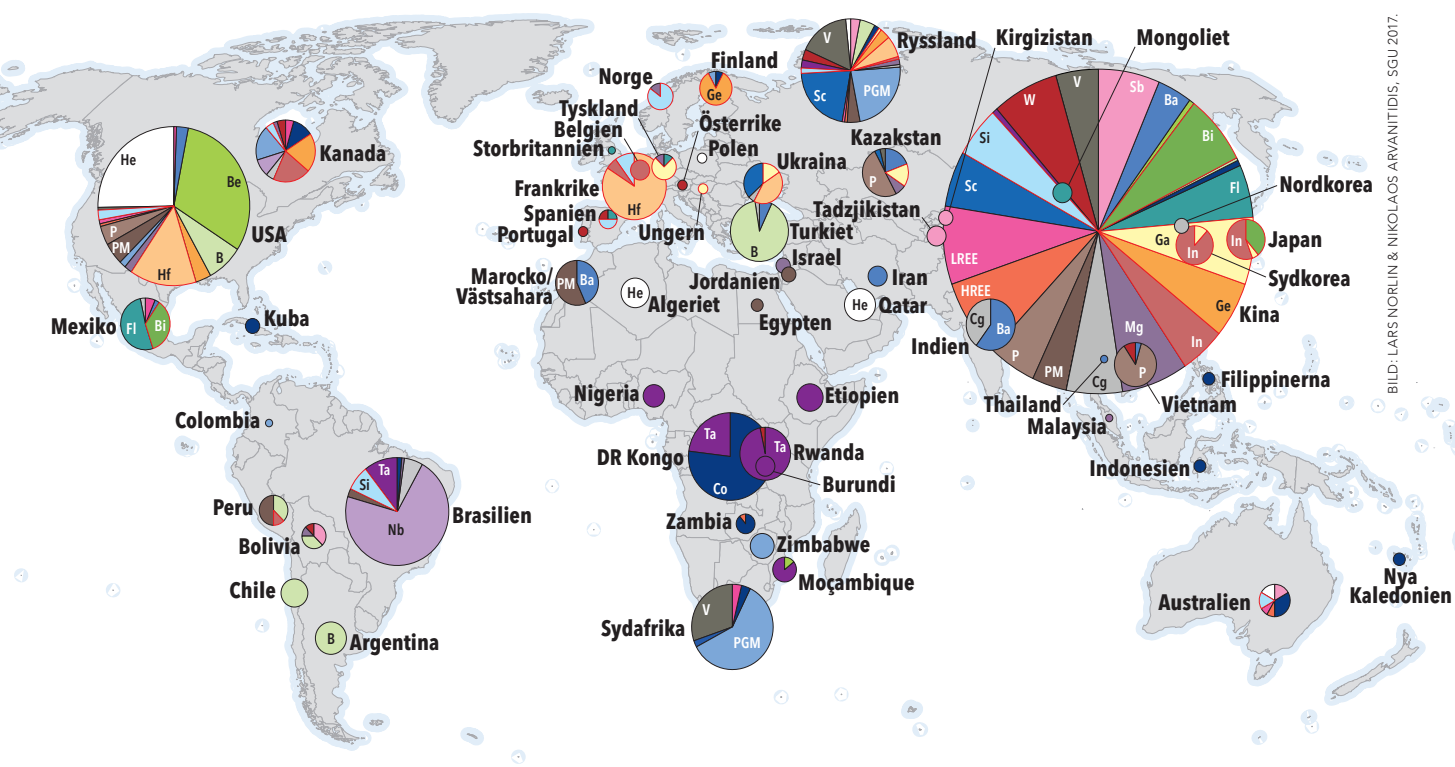
En stor del av utställningen är redan klar. Besökare kan lära sig om mineralens egenskaper som hårdhet, glans och kristallform. Dessutom visas hur mineralen används, t.ex. malmmineral, industrimineral och de mineral som behövs i nya högteknologisammanhang. Vissa egenskaper som hårdhet, magnetism och densitet kan man även testa med sina egna händer. De allra vackraste stufferna visas upp i egna montrar.

Just nu pågår arbetet för att utvidga utställningen med ytterligare montrar som ska visa mineral från Sveriges viktigaste aktiva och historiska gruvor. Dessutom ska mineral från flera andra mineralrika platser i Sverige presenteras, bland annat från Långban i Bergslagen. Utställningen byggs av personal från Teknikens hus, Sveriges nordligaste science center, och deras samarbetspartner. Målet är att utställningen ska bli klar till sommaren.

En mer utförlig presentation av utställningen kommer när mineralutställningen är helt klar. Men alla intresserade är självklart redan nu varmt välkomna! ♦



Tobias C. Kampmann är postdoktor på Avdelningen för geovetenskap och miljöteknik vid Luleå tekniska universitet.
tobias.kampmann@ltu.se



SCRREEN: mer kunskap om kritiska råvaror i Europa

Kritiska råvaror, och då inte minst metaller, krävs för i princip alla industriella värdekedjor och produkter, från mobiltelefoner, datorer och elbilar till vindkraftverk och snabbtåg. Ur ett europeiskt perspektiv är dock tillgången hotad eftersom vår egen produktion är låg eller obefintlig. EU-projektet SCRREEN är inriktat på att ta fram en mer samlad kunskapsbild om läget inför möjlig utvinning av just sådana kritiska material från både primära och sekundära källor i Europa, alltså allt från malmer till elektronikskrot.

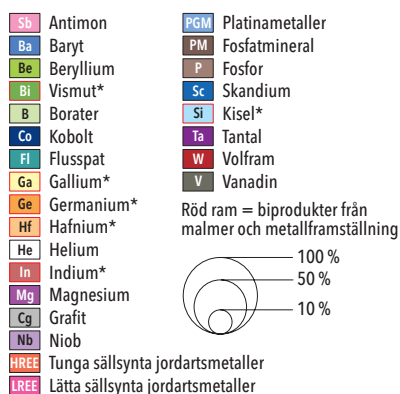
TEXT: ERIK JONSSON, ANNA LADENBERGER, NIKOLAOS ARVANITIDIS & RONALD ARVIDSSON

FRÅN ATT VÅRA SAMHÄLLEN tidigare huvudsakligen använde endast en handfull metaller har de industrialiserade länderna idag gått mot att utnyttja och förlita sig på tillgång till nästan alla grundämnen i det periodiska systemet.

Idag används alltifrån basmetaller som järn, koppar, zink och bly till förhållandevis sällsynta metaller och

halvmetaller som antimon, gallium, germanium, indium, tellur och de sällsynta jordartsmetallerna. I dagsläget konsumerar vi i Europa ungefär en fjärdedel av världens råmaterial på årsbasis medan vi endast producerar omkring tre procent. Detta betyder att den europeiska industrin till största delen är beroende av import av råmaterial från resten av världen.

Många av de mer sällsynta metaller som idag används på grund av sina specifika och mestadels ovanliga egenskaper bryts endast i ett mindre antal förekomster (ofta som biprodukter) världen över och klassas idag som i olika grad "kritiska". Detta är baserat på metallernas nyckelroller i ekonomiskt viktiga europeiska industriprocesser i kombination med



Motstående sida: Kartans pajdiagram visar den procentuella fördelningen av världens produktion av kritiska mineral

att produktionen är koncentrerad till relativt få och ofta odemokratiska eller konflikt-drabbade länder utanför Europa.

Ett exempel på en både konflikt-drabbad och demokratiskt bräcklig stat med viktig mineral- och metallproduktion är Kongo Kinshasa (DRK). Där finns en stor produktion av de synnerligen efterfrågade metallerna tantal, koppar och kobolt.

EU:s kritiska råmaterial

Av alla de olika råmaterial som används inom den europeiska industrin har EU-kommissionen så sent som hösten 2017 utpekat 27 råmaterial som de mest kritiska. Denna lista är en uppdatering av tidigare sammanställningar som gjordes 2010 och 2014.

Man har använt en komplex process som vägt global tillgångsrisk mot totalt ekonomiskt värde för den europeiska industrin för att välja just dessa 27 råmaterial. Det handlar framför allt om metaller och mineral som är viktiga för stora industrisektorer, exempelvis fordons-tillverkare och stålindustri.

Bland de 27 kritiska råmaterialen finns många "specialmetaller" som – även om deras egna totala värden är relativt små – har absoluta nyckelroller i mycket stora och ekonomiskt viktiga produktionsapparater. Två exempel är platina och palladium som krävs till katalysatorer i förbrän-

och metaller. Diagrammens ytor är proportionella. Varje cirkel visar varje lands totala produktion av olika kritiska metaller och mineral i viktprocent. Tårtbitarnas sammanlagda ytor för ett visst ämne utgör tillsammans 100 procent, baserat på vikt. Till exempel så står alltså Brasilien för 95 procent av världproduktionen av niob.

Kartan visar bland annat att Kina helt dominerar den sammanlagda världproduktionen även om de inte producerar samtliga kritiska metaller och mineral.

Kartan omfattar endast kritiska metaller och mineral. Därför finns till exempel inte Sverige med, som annars är en stor producent av andra metaller. Lokalt omfattande produktion i samband med förädling gör att flera europeiska länder ger intryck av att vara producenter, fastän råvarorna är importerade till EU, till exempel Frankrikes produktion av hafnium.

Källor: USGS, EU-kommissionen, SGU.

ningsdrivna fordon som produceras inom en industri med ett mycket stort ekonomiskt värde.

Många av råmaterialen är också helt nödvändiga för den inslagna vägen mot minskade koldioxidutsläpp och används inom olika typer av så kallad grön teknologi, till exempel för tillverkning av vindkraftverk, elbilar, batterier, LED-lampor och solceller. Bland de viktigaste kritiska metallerna för dessa ändamål är kobolt, vanadin, gallium, indium, neodym och dysprosium, tillsammans med mineralet grafit. Flera andra metaller, som exempelvis litium, ingår också bland dessa, trots att de på grund av den lägre tillgångsrisken inte återfinns på listan över de idag mest kritiska råvarorna.

Även om ett flertal länder runt jorden, t.ex. Ryssland och Kongo, är förknippade med "tillgångsrisk" så är det ett land som dominerar, nämligen Kina. Så sent som i slutet av 2017 var landet den enskilt största källan för kritiska råmaterial till Europa, med över 80 procent av världproduktionen av antimon, magnesium, sällsynta jordartsmetaller, vismut och wolfram. För flera av de enskilda sällsynta jordartsmetallerna ligger Kinas produktionsandel runt 95 procent.

SCREEN-projektet

EU-projektet SCREEN (Solution for critical raw materials – a European expert network) startades under vin-

2017 ÅRS EU-LISTA ÖVER KRITISKA RÅMATERIAL, UTOM NATURGUMMI (COM 2017)

Antimon	Kisel
Baryt	Kobolt
Beryllium	Koks-kol
Borater	LREE
Flusspat	Magnesium
Fosfatbergarter	Naturlig grafit
Fosfor	Niob
Gallium	PGM
Germanium	Skandium
Hafnium	Tantal
Helium	Vanadin
HREE	Vismut
Indium	Wolfram

tern 2016–2017 med avsikt att bilda ett europeiskt expertnätverk. Projektets inriktning är att hantera försörjnings-, hållbarhets- och policyfrågor kring EU:s potentiella primära och sekundära resurser av kritiska råvaror med det slutliga syftet att över tid kunna minska vårt importberoende av dem.

Projektet tar avstamp i de många tidigare och pågående EU-stödda initiativ och projekt som i något avseende inriktats mot råmaterial i Europa, t.ex. ERECON, CRM_Inno-Net, MSP-REFRAM, Minerals4EU, MICA, MINATURA, MIN-GUIDE, PROSUM, EURARE, Smart Ground, INTRAW, cycLED med flera.

Med primära resurser avses direkt utvinning av geologiska resurser (mestadels i form av mineral) i gruvor. Med sekundära resurser avses återvinning och utvinning av metaller ur olika typer av avfall, som skrot, industriprocessrester, rivningsavfall och liknande. Hit räknas också både äldre och fortlöpande producerat gruvavfall (till exempel varphögar, sandmagasin, sligdammar och skrotstenshögar).

Ekonomiskt att återvinna men ibland svårt

Till de idag mer ekonomiskt viktiga typerna av industriellt och privatproducerat avfall hör elskrot. Detta går idag (även i Sverige numera) vanligen under namnet WEEE, efter engelskans Waste Electrical and



Electronic Equipment. På grund av elektronikskrotets relativt höga halter av bas- och ädelmetaller (främst koppar och guld) är detta ett av de segment där man kommit längst idag. Här finns också en stor potential att ur skrotet återvinna också sällsyntare metaller.

Ökad återvinning av ovanligare metaller på sikt

Sällsynta jordartsmetaller kan på sikt få en ökad återvinningsgrad, speciellt från sådana sekundära råvaror där de

förekommer i lite högre koncentrationer och vars övriga sammansättning är relativt homogen. Ett exempel är magneter från elmotorer och inte minst vindgeneratorer. I många material förekommer dock sällsynta jordartsmetaller i mycket låga halter. Från dessa är det osannolikt att någon större grad av återvinning alls kommer att kunna genomföras, i alla fall med någon rimlig ekonomi.

Många av de kritiska råmaterialen är också svåra eller närmast omöjliga att återvinna till någon större

I de flesta av de klassiska gruvdistrikten i Europa, inte minst i Sverige, finns många gruvområden med stora volymer av rester efter gruvbrytning. Dessa utgörs oftast av grovblockiga till finblockiga högar av skrotsten, s.k. varphögar. På bilden syns en del av varparna vid de gamla apatit-järnmalmgruvorna vid Idkerberget i nordvästra Bergslagen. Här innehåller restmaterialet en del kvarvarande järn, men också fosfor och sällsynta jordartsmetaller (REE).

del på grund av egenskaperna hos de produkter de används i. I fallet med exempelvis antimon så används denna ganska ovanliga metall i keramik och glas, legeringar, batterier och plaster, men den största användningen är i flamskyddsmedel. Genom att dessa används för impregnering av många olika material, t.ex. textilier, färg och gummi i olika produkter, så blir de svåra att återvinna i någon större utsträckning på grund av skillnader i både användning och material.

En framtida fråga är också det faktum att både återvinningsindustrin och gruvindustrin har sin egen miljöpåverkan som måste undersökas bättre för att bedöma risker med föroreningar och hälsopåverkan.

Vad gör vi i projektet?

Projektet omfattar olika prioriterade värdekedjor för kritiska råvaror i Europa. Detta är i hög grad relaterat till aktuella samhällsutmaningar och åtaganden, inte minst avseende hållbarhet, miljö och klimat, men också arbetstillfällen och globala konkurrensspekter.

Bland annat ingår att kartlägga de potentiella källorna till kritiska råmaterial i form av primära (malmer) eller sekundära (elektronikskrot, gruvavfall etc.) förekomster och deras karaktär. Dessutom ska projektet bidra till att öka kunskapsläget kring Europas potential och kapacitet för att nyttja både befintliga resurser och nya typer av utvinning eller återvinning. Man vill också klargöra

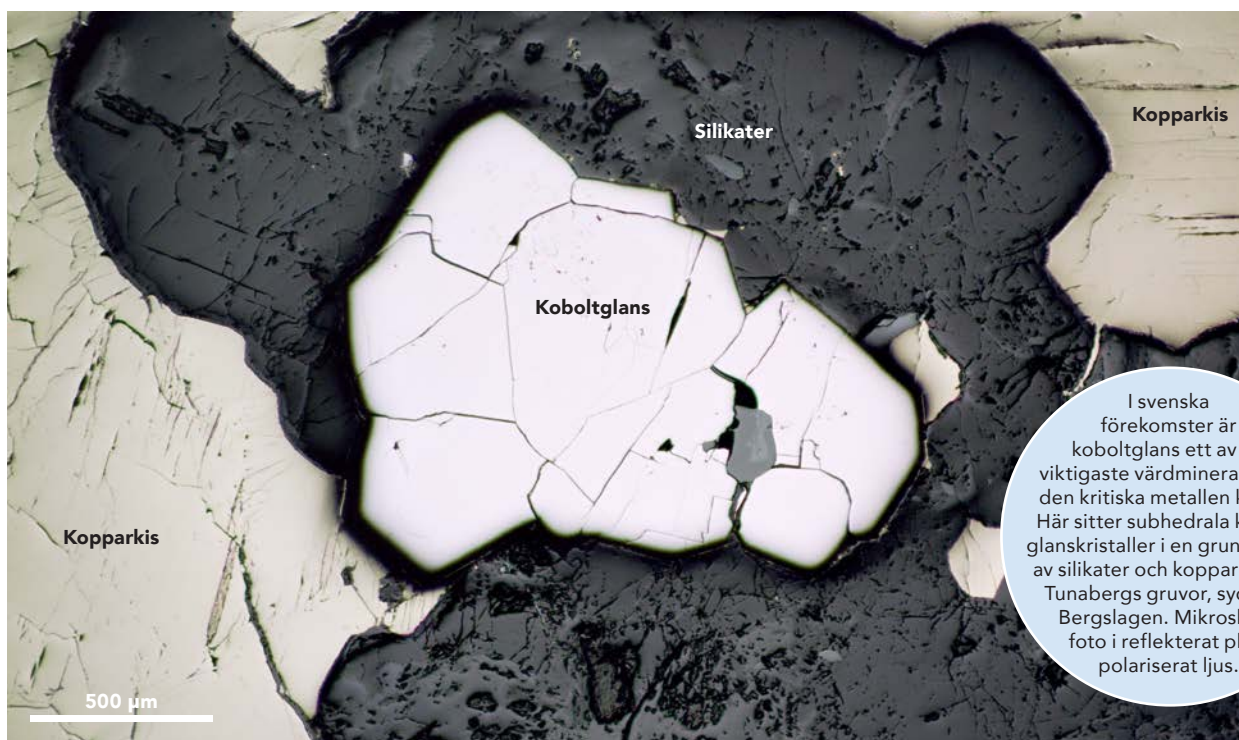


FOTO: ERIK JONSSON.

I svenska förekomster är koboltglans ett av de viktigaste värdmineralen för den kritiska metallen kobolt. Här sitter subhedrala koboltglanskristaller i en grundmassa av silikater och kopparkis från Tunabergs gruvor, sydöstra Bergslagen. Mikroskopfoto i reflekterat plan-polariserat ljus.

uppenbara behov av nya teknologier och applikationer för användarna av dessa resurser.

Projektet undersöker och sammanställer bland annat publicerad information om kritiska råvaror från avslutade EU-projekt och tillgängligheten till olika existerande on-linedatabaser, som till exempel ProMine-portalen (ptrarc.gtk.fi/ProMine/default.aspx) och European Minerals Knowledge Data Platform (minerals4eu.brgm-rec.fr/).

Ett viktigt resultat från rapport-sammanställningarna under 2018 är att kunna överblicka vad vi vet, och därmed relativt enkelt kunna se och lyfta fram vad vi *inte* vet, alltså nyckelinformation som vi i nästkommande steg behöver ta fram för att göra det möjligt att utnyttja inte minst de sekundära resurserna.

SCRREEN-projektet kartlägger och utvärderar också rättsliga procedurer och regelverk, inte minst sådana som kan hindra eller motverka utnyttjandet av potentiella råvaruresurser. Ett exempel på vad som kan hindra utnyttjandet av potentiella råvaruresurser är situationen i Sverige: I dagens läge kan man inte säkra undersökningstillstånd för

varphögar och annat gruvavfall. Så medan proceduren för att göra detta är väl känd och etablerad i fallet med en mineralisering i fast berg går det inte att göra detta om samma berg brutits och lagts på en hög. Detta är till synes ganska ologiskt, men gör att det idag inte finns någon lätthanterlig process för att som inkommande aktör börja återvinna metaller ur exempelvis gamla varphögar i Bergslagen.

Sveriges geologiska undersökning leder ett delprojekt inom SCRREEN som är inriktat på att kartlägga och beskriva kunskapsläget för kritiska råmaterial i sekundära resurskällor och deltar även i arbetet med policyfrågor. Projektet i sin nuvarande form kommer att pågå till och med 2019.

Uppdaterad lista på kritiska råvaror

Nyligen har SCRREEN-projektet fått i uppdrag av EU-kommissionen att identifiera vilka experter som ska anlitas för att bidra till nästa bedömning av de mest kritiska råvarorna. Det finns 78 råvaror som är uppe för diskussion, de s.k. kandidatmaterialen. Bedömningen börjar 2019 och publiceringen av den nya uppdaterade

rade listan över EU-kritiska råvaror förväntas år 2020. ♦

Läs mer

Erik Jonsson, Karin Högdahl & Nikolaos Arvanitidis. 2015. Sällsynta och kritiska metaller i vanliga och ovanliga mineral. Geologiskt forum nr 85, 6–12.

Erik Jonsson, Karin Högdahl & Nikolaos Arvanitidis. 2015. Eftersökta svensk-ättlingar – och andra sällsynta och kritiska metaller i vanliga och ovanliga mineral. Geologiskt forum nr 86, 22–27.

Rapporter från projektet finns tillgängliga på <http://scrreen.eu/results/> Till exempel: D3.1: Identification and quantification of primary CRM resources in Europe och D3.2: Identification and quantification of secondary CRM resources in Europe.



Anna Ladenberger, Nikolaos Arvanitidis och Erik Jonsson är statsgeologer, Ronald Arvidsson är statsgeofysiker vid Sveriges geologiska undersökning. erik.jonsson@sgu.se



Tänkvärt i Timefulness

Det är vackert, men det gör också ont, att följa med Marcia Bjornerud i boken *Timefulness* på en resa genom tid och rum. Trädens löv blir små fotosyntesfabriker. Stenarna på stranden blir synliga bevis på vulkanutbrott, bergskedjors bildning och erosion. Här bor evigheten. Här kan också arter utrotas, världshav försuras och jordens miljardgamla inre skatter skövlas. På ett ögonblick.

RECENSION

MARCIA BJORNERUD är professor i geologi och miljövetenskap vid amerikanska Lawrence University i Appleton, Wisconsin.

Hennes bok *Timefulness*, med undertiteln *How thinking like a geologist can help save the world*, är en skarp pamphlett för ökad medvetenhet om hur människan påverkar naturens system.

Marcia Bjorneruds bok är nätt i formatet och elegant skriven. Hon har ett poetiskt och ibland målande men ändå knivskarpt språk. Hon berättar om jordens historia och geologins idéhistoria, om jordklotets och atmosfärens rytmer. Hon är grundlig och översiktlig på en och samma gång.

I boken senare del fokuserar författaren på det faktum att någonstans under förra seklet nåddes en vändpunkt. Människans aktiviteter började påverka miljön, i stor skala, med magnituder som vida överträffar de naturliga förändringar som naturliga geologiska och biologiska processer kan orsaka. Det handlar om ökade koldioxidutsläpp

i atmosfären, om ökad hastighet på erosion och sedimentation, om stigande havsyttenivåer, om förändringar i havets kemi och om en markant ökning i hastigheten av utrotningen av biologiska arter.

Varför skriver Bjornerud allt detta? Varför gör hon sig själv till en detektiv som med förstoringsglasat i sin hand vänder och vrider på tidsbegrepp. Hur får hon ihop kopplingen mellan existentiella frågeställningar och dagens globala miljöutmaningar?

För Bjornerud (som belönats med priser för exempelvis sin goda förmåga att undervisa) är själva kärnproblemet det som uppstår när man rör sig i landskapet utan kunskap om hur grundläggande naturlagar fungerar. Man krockar, förstör, ramlar, slår sig, gör både sig själv och andra illa. Men om fler människor förstår allas vår gemensamma historia, jordens historia, och hur vi hör ihop med den – visst skulle vi kunna behandla varandra och planeten bättre då? Vi skulle kunna fatta goda beslut. Kanske rentav rädda världen?

– Människor behöver känna till de stora kapitlen i jordens historia och förändringsgraden i miljömässigt normal instabilitet, skriver Björnerud.

Samhällen behöver kunskap om att det finns inneboende tidskalor att förhålla sig till, exempelvis när vi ska hantera vårt naturliga kapital, som luften vi andas eller vårt grundvattensystem. Med geovetenskapen som plattform går det att korrekt rekonstruera jordens förflutna. Det är också utifrån denna plattform som man bäst skapar relevanta möjliga framtidsscenario för tillvaron på vår planet – på både kort och lång sikt.

Orden i Björneruds bok förtjänar att få sjunka in. Följ med på en resa som spänner från jordens tillkomst och ända in i en förhoppningsvis hållbar framtid. Detta är inte linjär läsning. Men en inbjudan till en slags dynamisk världsåskådning i geovetenskapens strålkastarsken som också kan kallas för just Timefulness. ♦



FOTO: RACHEL CROWL

TIMEFULNESS – HOW THINKING LIKE A GEOLOGIST CAN HELP SAVE THE WORLD

Författare: Marcia Björnerud, Walter Schober Professor of Environmental Studies and Professor of Geology vid Lawrence University, Wisconsin

Bokförlag: Princeton University Press

Utgivningsdatum: september 2018

ISBN: 9780691181202

Antal sidor: 224

Bandtyp: Inbunden

FOTO: KAISA LJUNGBERG



Anna Kim-Andersson är bland annat kommunikatör och journalist med en fil mag i geovetenskap.
anna.kimandersson@gmail.com

Arrangera på

Geologins Dag

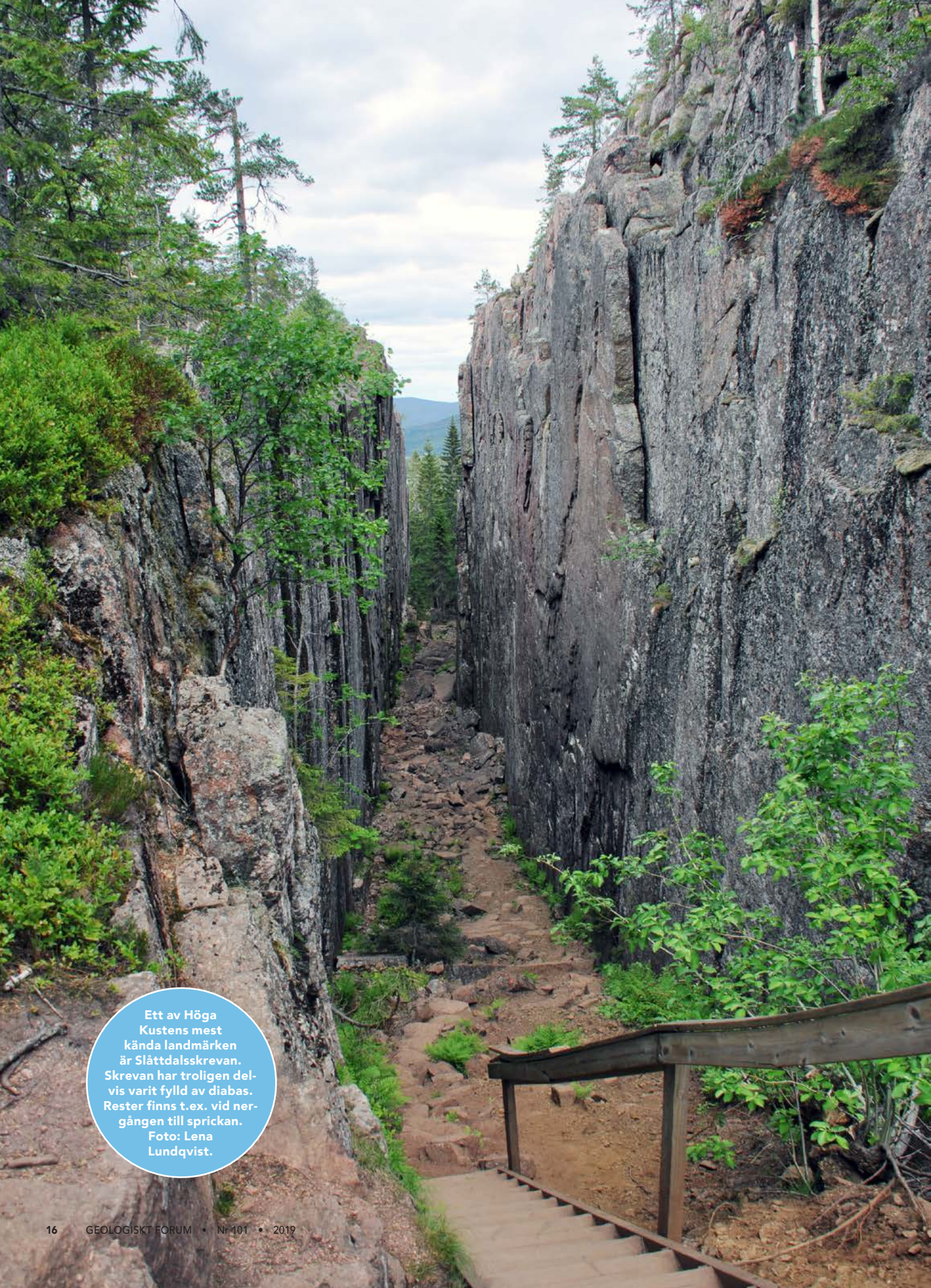
lördagen den 14 september



Läs mer på www.geologinsdag.nu/arrangor

I samarbete med:

Boliden Mineral AB • FAB – föreningen för Aktiva i Borrbranschen • Georange • Geotec
Geosektionen inom Naturvetarna • LKAB • Stockholms universitet • Svensk Kärnbränslehantering AB
Sveriges Bergmaterialindustri • Uppsala universitet



Ett av Höga
Kustens mest
kända landmärken
är Slättdalsskrevan.
Skrevan har troligen del-
vis varit fylld av diabas.
Rester finns t.ex. vid ner-
gången till sprickan.
Foto: Lena
Lundqvist.

LYSTRA

Att utveckla ett geologiskt världsarv

I ett treårigt svensk-finskt samarbetsprojekt pågår de närmsta åren arbete med att uppgradera den geologiska informationen inom världsarvet Höga Kusten och Kvarkens skärgård. Ett av målen är att ta fram ett förbättrat kunskapsunderlag för en hållbar användning av världsarvet.

TEXT: LENA LUNDQVIST & KRISTIAN SCHONING

HÖGA KUSTEN och Kvarkens skärgård är ett världsarv som har utpekats av Unesco för sina exceptionella och universella geologiska värden. Världsarvet är gemensamt för Finland och Sverige och ligger på varsin sida av Bottenhavet.

Det särskilda värde som ligger till grund för världsarvsutpekandet är landhöjningen. Höga kusten och Kvarkens skärgård är platser där landhöjningens påverkan och konsekvenser på landskapet är påtagliga. Det är också här som man har den högst belägna strandlinjen i världen bildad efter den senaste istiden. Här har man också den snabbaste landhöjningen idag.

För att lyfta och öka förståelsen för de geologiska värden som finns inom världsarvsområdet har samarbetsprojektet LYSTRA startats. Projektet ska bidra till en hållbar förvaltning av världsarvsområdet. Dessutom vill man främja besöksnäringen och se till att området utvecklas på ett hållbart sätt.

Varandras motsatser

Höga kusten och Kvarkens skärgård är varandras motsatser. Där Höga kusten har en dramatisk kuststräcka där branta berg möter Bottenhavet är Kvarkens skärgård otroligt platt med en flack kust. Skillnaderna i landskapets topografiska karaktär beror på skillnader i bergartsgeologi och tektonisk utveckling.

En stor del av förklaringen ligger också i att Kvarkens skärgård är en del av det subkambriska peneplanet medan Höga kusten har en annan erosionshistoria. Områdenas olika karaktärer gör att de ger sina olika versioner av berättelsen om landhöjningen och hur denna påverkat både natur och människa.

Det finns få andra platser i världen där landhöjningens påverkan och processer kan upplevas så påtagligt och tydligt som inom dessa områden på varsin sida om Bottenhavet. Tillsammans ger Höga kusten och Kvarkens skärgård fantastiska möjligheter att uppleva och studera

ett landhöjningslandskap ur lite olika perspektiv.

Höga kusten

Höga kustens dramatiska landskap lämnar ingen oberörd och har inspirerat såväl forskare som författare och konstnärer. Till exempel beskriver Kerstin Ekman kärleksfullt Skuleskogen i romanen *Rövare i Skuleskogen*. Bergstup, lysande röd Nordingrågranit och öppna klapperfält gör att geologin är påtaglig och en ständig följeslagare när man rör sig i området.

Höga kusten är inte bara ett mytomspunnet och fantasieggande landskap utan också unikt eftersom vi här hittar spåren av den högst belägna strandlinjen i världen på 286 meter över havet. Höga kusten och Kvarkens skärgård ingår i det område som har den snabbaste landhöjningen i världen.

Landhöjningens processer präglar landskapet och spåren efter forna stränder syns nästan överallt i form av kalottberg, klapperstensfält, sten-



DELAT VÄRLDSARV

Avståndet mellan de två världsarvsområdena Höga kusten och Kvarkens skärgård är omkring 150 km. I områdena finns mer än 7 000 kobbar och skär. Eftersom landet stiger med 8–8,5 mm per år så bildas omkring 1 kvadratkilometer ny landyta varje år. Landhöjningen kommer också att resultera i en fast landförbindelse mellan Sverige och Finland om cirka 2 500 år.

Källa: www.kvarken.fi/varldsarvet/



torg, strandvallar och kalspolade berg. Det kanske mest kännetecknande för Höga kusten är de otaliga klapperfält där havets vågor sköljt bort allt finare material och lämnat stora ytor med enbart stora block och stenar. Ibland har krafterna av vågor och havsis skjutit ihop blocken och stenarna till vallar. Världens högst belägna klapperstensfält finner man på toppen av Högklinten.

Det finns även stora områden med svallgrus och strandvallar som är spår efter stränder där vågor och strömmar flyttat om jordlagren. I det här svallgruset hittar man skal av blåmusslor upp till 80 meter ovanför dagens havsytta. Blåmusslan, som idag finns i havet utanför Höga kusten, har alltså även levt på de klippor och sluttningar som idag leder ner till dagens vattenyta.

Även berggrunden har sin berättelse om den äldre geologiska utvecklingen långt före istiderna. Hit lockas

både svenska och internationella geologer för att studera och fascineras av de välbevarade rapakivibergarterna. Ordet rapakivi kommer från finskan och betyder ungefär ruttet berg vilket refererar till att bergarterna är relativt lättvittrade.

Berggrunden med Nordingrå-granit, gabbro, anortosit och Ulvö-diabas skiljer sig från övriga delar av mellersta Norrland som helt domineras av omvandlade gamla sedimentära och äldre intrusiva bergarter. Strax utanför världsarvsområden finns Långroudden där man kan studera hur mineral kristalliserat till en lagrad struktur i en magmakammare.

Ett av Höga kustens mest kända geologiska landmärken, Slåttbäcks- skrevan, har emellertid inte sitt ursprung från landhöjningen. Den är troligen en spricka där diabas trängt upp och där diabasen vittrat och materialet spolats ut ur sprickan.

Bild 1: Vid Höga kusten finns tydliga kontraster mellan branta, skogsklädda berg och uppodlade marker i dalgångarna.

Bild 2: Utsikten från Högklinten visar det dramatiska, kulliga landskapet vid Bottenhavet.

Bild 3: På toppen av Högklinten finns mäktiga klapperstensfält.

Bild 4: Från Slåttbäcksberget som visar Högsta kustlinjen. På toppen, dit inte vågorna nått, ligger jordtäcket kvar och skog kan växa. Nedanför högsta kustlinjen har Ancyliussjöns vågor sköljt bort jorden och berget ligger kalt.

Foto: Lena Lundqvist.

Ute på Ulvön finns tydliga spår av industrihistoria med spår av gruvverksamhet. Här upptäcktes mineralet ulvöspinell på 1940-talet.

Orkideér och värmeälskande växter

För den som är intresserad av växter och orkideér ger Höga kusten många



5



6



7



8

Bild 5: Den flacka kusten i Kvarkens skärgård gör att landhöjningen snabbt skapar en mosaik av nya landområden med stora grunda vatten. De Geermoräner sticker upp som slingrande landtungor ur det grunda vattnet. Utsikt från Saltkaret i Svedjehamn.

Bild 6: Havsvikar i Kvarkens skärgård grundar upp, snörs av och bildar så småningom insjöar. Rester efter gamla fiskelägen och hamnar finns nu lång in i land.

Bild 7: Några av projektets deltagare på en rogenmorän vid Köklot i Vasa. Rogenmoräner, som är vanliga i Kvarkens skärgård, är en typ av utsträckta moränkullar som ligger vinkelrätt mot isens rörelseriktning.

Bild 8: Fiskeläget Svedjehamn illustrerar Kvarkens flacka kust.
Foto: Fabiola de Graaf.

möjligheter till fängslande upplevelser. Nornan och många andra kalkälskande orkidéer finns på flera platser. De trivs där på grund av kalken från de skalrester av musslor som en gång levit i Litorinahavet och som idag finns som skaljord i svallgrus och svallsand.

Bergarterna anortosit, diabas och gabbro ger ett extra tillskott av kalk till jordarna. De branta bergväggarna ger också ett gynnsamt mikroklimat, särskilt där bergväggen vätter åt söder, så kallade sydväxtberg. Här är vegetationen ofta särskilt frodig med värmeälskande växter.

Kvarkens skärgård

Kombinationen av en snabb landhöjning, ett mycket flackt landskap och morän med många egna ytformer ger Kvarkens skärgård sin typiska mosaik och labyrint av öar och skär.

Moränens former styr helt hur öarna och skären ser ut. Särskilt karaktäristiska är de låga, långsmala öar som De Geermoräner ger upphov till. Andra större öar är mer oregelbundna till formen och utgörs av rogenmoränkullar. Det flacka landskapet gör att landhöjningen snabbt frilägger stora ytor som bildar nya landområden. I kombination med moränens former

LYSTRA

Lystra är ett treårigt projekt inom Interreg Botnia-Atlantica med målet att öka förståelsen för världsarvets värden och att utveckla besöksnäringen på ett hållbart sätt. En viktig del är uppdatering av den geologiska informationen runt världsarvet Höga Kusten och Kvarkens skärgård.

Projektet leds av Forstyrelsen i Finland med länsstyrelsen i Västernorrland som ansvarig för den svenska delen. Medverkande i projektet är även SGU, GTK och Geodatacentralen (FGI).

Under försommaren 2018 tillbringade SGU:s projektgrupp en vecka vid Höga Kusten. Denna gång hanns endast fastlandet med, och ett återbesök för att även studera de geologiska värdena på öarna är planerat.



EUROPEISKA UNIONEN

Interreg
Botnia-Atlantica

Europeiska regionala utvecklingsfonden

gör detta att det finns ett stort antal vikar som håller på att snöras av, nyss bildade sjöar och myrmarker.

Landhöjningen ger också en tydlig succession i vegetationen från de nyss frilagda landområdenas ört och gräsmarker via lövdominerad skog till de äldsta områdenas blandskog med tall.

I Kvarkens skärgård finns också ett mycket rikt fågelliv eftersom de grunda vattnen med alla otaliga öar och skär gör att det finns gott om föda och häckningsplatser.

Landhöjningen och människan

Att de geologiska förutsättningarna är viktiga för människan blir högst påtagligt i ett landhöjningsområde som Höga kusten och Kvarkens skärgård. Landet höjer sig snabbt ur havet och i takt med att landet höjt sig ur havet har också spåren efter människan följt med.

Boplatser som en gång anlagts nära en havsvik ligger idag långt uppe på land. En by eller ett fiskeläge som etablerats vid kusten kan, inom loppet av en eller ett par generationer, istället ligga vid en insjö. Gamla hamnar blir obrukbara samtidigt som nya landområden bildas. Detta är något som är särskilt påtagligt där topografin är flack som i

Kvarkens skärgård.

I Bönhamn vid Höga kusten finns ett konst-

verk som påtagligt visar tidens gång. Fem trappsteg, huggna under dagens vattenlinje, reser sig ur havet i takt med att landet höjer sig. Varje trappsteg motsvarar landhöjningen under en generation.

Förvaltning av världsarvet

För att kunna utveckla användandet och ha en hållbar förvaltning av världsarvets geologiska kvaliteter behövs förbättrad och uppdaterad geologiska information. Det här handlar mycket om att beskriva och klassificera de platser där spåren av landhöjningen är särskilt tydliga och återspeglar världsarvets värde.

Genom att synliggöra de geologiska värden som var orsaken till att världsarvet utpekades får man en möjlighet att ta hänsyn till dessa i den kommunala och regionala planeringen. Det här är viktigt för att världsarvets status inte ska äventyras och geologiska värden inte ska skadas.

Tanken är att sammanställningen av geologiska platser och beskrivningen av deras värden ska användas som planeringsunderlag i den kommunala planeringen. Inom projektet LYSTRA är Sveriges geologiska undersökning och dess finska motsvarighet Geologian tutkimuskeskus ansvariga för att ta fram det geologiska underlaget.

En viktig del av arbetet för SGU är här att ta fram en mer detaljerad

UNESCOS VÄRLDSARV

Områden eller platser kan utses till världsarvsområden enligt Unesco:s världsarvskonvention för skydd av natur- och kulturarv. Ett område utsett till världsarv behöver förvaltas på ett sådant sätt att världsarvets värden inte skadas eller går förlorade. I Sverige finns idag 15 världsarvsobjekt.

jordartskarta över Höga kusten-området. Den nya jordartskartan växer fram genom att vi använder oss av lantmäteriets mycket detaljerade höjdmodell, framtagen med hjälp av flygburen laserscanning (LiDAR). Med hjälp av höjdmodellen går det att med hög detaljnivå urskilja landformer och till viss del även skillnader mellan olika jordarter.

Besöksnäring

Höga kustens natur har alltid varit ett resmål för engagerade turister som trivs med ett aktivt friluftsliv som att vandra, cykla, paddla eller fiska. Detta är en typ av turistande som ligger rätt i tiden där ekoturism och ekosystemtjänster är begrepp som snart alla känner till.

Ett av LYSTRA-projektets huvudsakliga mål är att bidra till en ökad attraktionskraft och en starkare besöksnäring. Då geologin är påtagligt och Höga kusten har ett starkt tema i form av landhöjningen är det naturligt att upplevelser runt de geologiska processer som format landskapet står i centrum.

Utvecklingen av besöksnäringen måste däremot ske på ett hållbart sätt så att de värden som finns inte äventyras. Här ser vi att en ökad medvetenhet om naturen och om hur landskapet bildats och utvecklats ökar förståelsen för världsarvet och stärker möjligheten till att bevara de universella geologiska värden som världsarvet representerar. ♦

Toppen av Slåttdalsberget har spolats helt rent från jord och sand. Den röda Nordingrågraniten vittrar lätt och bildar vittringsgrus vilket är en bra grogrund för växter att etablera sig i. Foto: Lena Lundqvist.



Lena Lundqvist och Kristian Schoning är statsgeologer på Sveriges geologiska undersökning.
lena.lundqvist@sgu.se

Nya styrelseledamöter

I samband med förra årets årsmöte i Lund valdes två nya styrelseledamöter för åren 2019–2020. Gry och Jaana presenterar här sig själva.

Gry Møl Mortensen

Jag är ursprungligen en köpenhamnartjej, men valde 2002 att flytta till Sverige, där jag nu bor i ett skönt trähus på sydkusten med min man och våra två stora ungar.

Jag är utbildad geolog från Köpenhamns universitet och Macquarie University i Sydney. Min inriktning var sedimentologi och karbonatgeologi vilket förde mig till andra sidan av klotet för att studera rev-ekologi och sedimentologiska processer med särskild fokus på bryozofaunan på Heron Island som ligger i den sydligaste delen av Great Barrier Reef, Australien.

I Sverige jobbade jag först som laboratorieingenjör på Sandvik Mining and Construction i Svedala där jag jobbade som beteendevetare,

för bergarter alltså. Efter några år som ingenjör saknade jag att jobba med någon som talade samma språk som jag (geologiskt) och fick då chansen att bli anställd på SGU, där jag jobbar i dag, främst med koldioxidlagring och bergkvalitet. Inom området koldioxidlagring har jag bl.a. gjort kartläggningar i ArcGIS över identifierade lagringskomplex i södra Sverige, samt gjort kapacitetsberäkningar för hur mycket koldioxid det, i teorin, går att lagra inom dessa.

Inom området bergkvalitet undersöker vi vilka bergartstyper som ur ett materialförsörjningsperspektiv lämpar sig bäst som ballast inom kategorierna väg, järnväg och betong.

Nu när jag också har fått möjlighet att ingå i styrelsen för Geologiska



FAKTA

Ålder: 45 år

Bor: Simremarken

Familj: Man och två barn

Arbete: Statsgeolog på Sveriges geologisk undersökning

Fritid: Yoga, resor, naturupplevelser

föreningen måste jag väl snart anses som väl integrerad i det svenska samhället. ♦

Jaana Vuorinen

Jag har haft ett stort intresse för naturvetenskap ända sedan jag var barn och minns att jag samlade stenar med min farmor i min barndoms somrar i Finland.

Egentligen hade jag tänkt bli astronom från början men nyfikenheten på vulkaner och jordbävningar tog överhanden. Det intresset kombinerat med en vilja att vara ute i naturen gjorde att geovetenskap kändes som ett lämpligt studieämne och så fick det bli.

Jag började läsa geovetenskap på Stockholms universitet 1993 och disputerade i geokemi och petrologi 2005. Efter disputationen arbetade jag på Stockholms universitet och på Naturhistoriska riksmuseet.

Samtidigt kompletterade jag mina geologiska kunskaper med studier inom bergmekanik och bergteknik på Kungliga tekniska högskolan i Stockholm.

I augusti 2009 började jag arbeta på Vattenfall Power Consultants i projekt Citybanan. Därefter har jag arbetat på Pöyry Swedpower, och sedan oktober 2012 på sektionen för bergteknik på ÅF Infrastruktur AB.

Idag har jag rollen som biträdande teknikansvarig för bergteknik i projekt Förbifart Stockholm, och är sektionschef för sektion bergteknik.

Jag ser fram emot att kunna bidra till Geologiska föreningens arbete och utveckling. ♦



FAKTA

Ålder: 45 år

Bor: Lervik utanför Åkersberga

Familj: Sambo Henrik Schauman, dotter Irma och katterna Arnold och Mau

Arbete: Sektionschef bergteknik på ÅF Infrastruktur AB, och biträdande teknikansvarig för bergteknik i Förbifart Stockholm



Hur gammal är Stockholmsgraniten?

Vad säger forskningen, och vad säger folket?

TEXT OCH BILD: ÅKE JOHANSSON & ANDREAS KARLSSON

När Cosmonova byggdes på baksidan av Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm i början av 1990-talet tog vi ett prov av den grå och relativt finkorniga Stockholmsgraniten på platsen. Åldern på graniten bestämdes sedan med uran-blymetoden på mineralet zirkon, som separerades fram ur bergarten. Nu har åldersbestämningen gjorts om med den mer förfinade metodik som numera står till buds. Vad blev det nya resultatet? Och hur gammal trodde folket, i form av museets besökare under Geologins Dag 2018, att graniten under museet kan vara?

DEN FÖRSTA ÅLDERSBESTÄMNINGEN av Stockholmsgraniten gjordes genom att sju olika storleksfraktioner av zirkonkristaller, var och en kanske innehållande flera hundra kristaller, vägdes in och löstes upp i stark syra. Ur lösningarna separerades uran och bly fram, och halterna av dessa ämnen, liksom blyets isotopsammansättning i var och en av fraktionerna, mättes i en termisk masspektrometer.

De erhållna isotopkvoterna av bly och uran plottades sedan i ett s.k. konkordia-diagram (se nästa uppslag). Idealt ska analyserna plotta direkt på den teoretiska konkordiakurvan i diagrammet, men eftersom zirkonkristallerna läckt en hel del bly plottade de i stället längs en s.k. diskordialinje under kurvan. En ungefärlig ålder på 1803 ± 20 miljoner år för Stockholmsgranitens intrusion och

Till vänster: Häll av Stockholmsgranit vid tunnelbanestationen i Frescati. Man ser pegmatiter som klipper genom graniten, och ett större brottstycke av äldre gnejs.

Runda bilden: Stuff av Stockholmsgranit med inslag av grövre pegmatit, tagen vid grävningsarbeten på Riksmuseets bakgård. Det material som åldersbestämdes är av relativt finkornig granit, inte den grovkorniga pegmatiten.

Nedan: Zirkoner från Stockholmsgraniten, till vänster fotograferade i ljusmikroskop. De enskilda kristallerna är ca 0,1–0,2 mm långa. Till höger visas en analyserad kristall sedd i svepelektronmikroskop med BSE (back-scatter electron). Den markerade analyspunkten gav åldern 1800 miljoner år. De mörkgrå partierna i kristallen är metamikt. Det betyder att kristallgittret där delvis är förstört på grund av radioaktivt sönderfall, medan de ljusgrå partierna är intakta och mer gynnsamma att analysera. Mineralen zirkon är ett zirkoniumsilikat med formeln $ZrSiO_4$, men innehåller dessutom mindre mängder av andra grundämnen, däribland radioaktivt uran och torium, vilka båda sönderfaller till olika isotoper av bly. Zirkon är därför lämpligt att använda för uran-blydatering, i synnerhet som det förekommer i små mängder i många bergarter. Det är också motståndskraftigt mot olika sorters omvandling och metamorfos.

kristallisation gick ändå att bestämma genom att extrapolera diskordialinjen till dess skärning med konkordia-kurvan. Denna åldersbestämning publicerades av Ivarsson & Johansson i tidskriften GFF år 1995.

Att zirkonerna plottade så pass långt från konkordia-kurvan, att de var så diskordanta, har att göra med att de var ovanligt uranrika, mellan 740 och 1360 ppm (miljondelar) uran i de olika fraktionerna. Att det finns uran i zirkonkristallerna som sönderfaller till bly är själva förutsättningen för att denna dateringsmetod ska fungera. Men om zirkonerna är alltför uranrika skadar de många radioaktiva sönderfallen kristallstrukturen i zirkonerna – man säger att dessa blir metamikt – och de börjar läcka

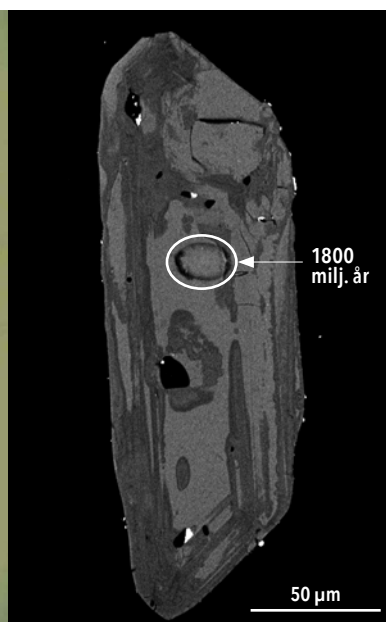
bly så att kvoterna mellan bly och uran minskar. Det är det som hänt när analyspunkterna plottar under konkordia-kurvan. Extrapolationen upp till skärningen mellan den linje de olika fraktionerna plottar längs och kurvan blir stor, och därmed blir osäkerheten i åldersbestämningen också stor, i detta fall alltså ± 20 miljoner år.

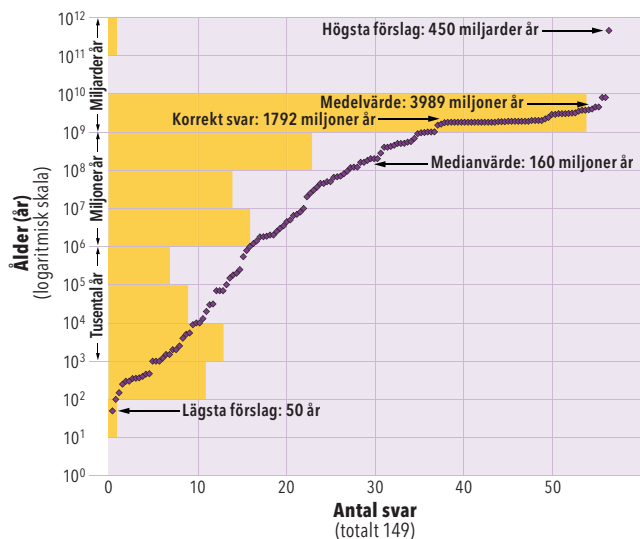
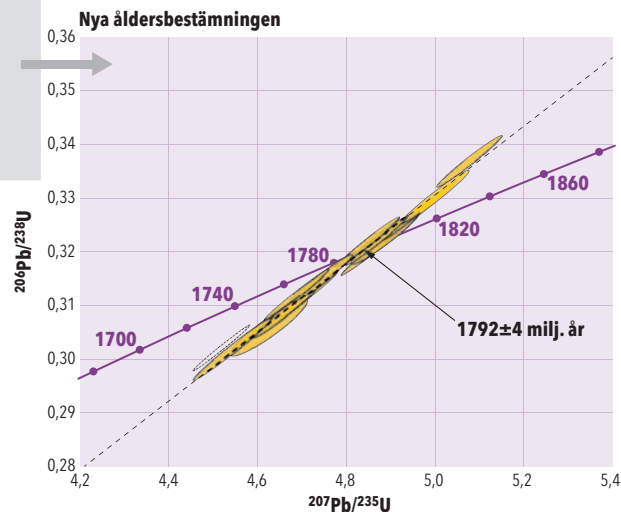
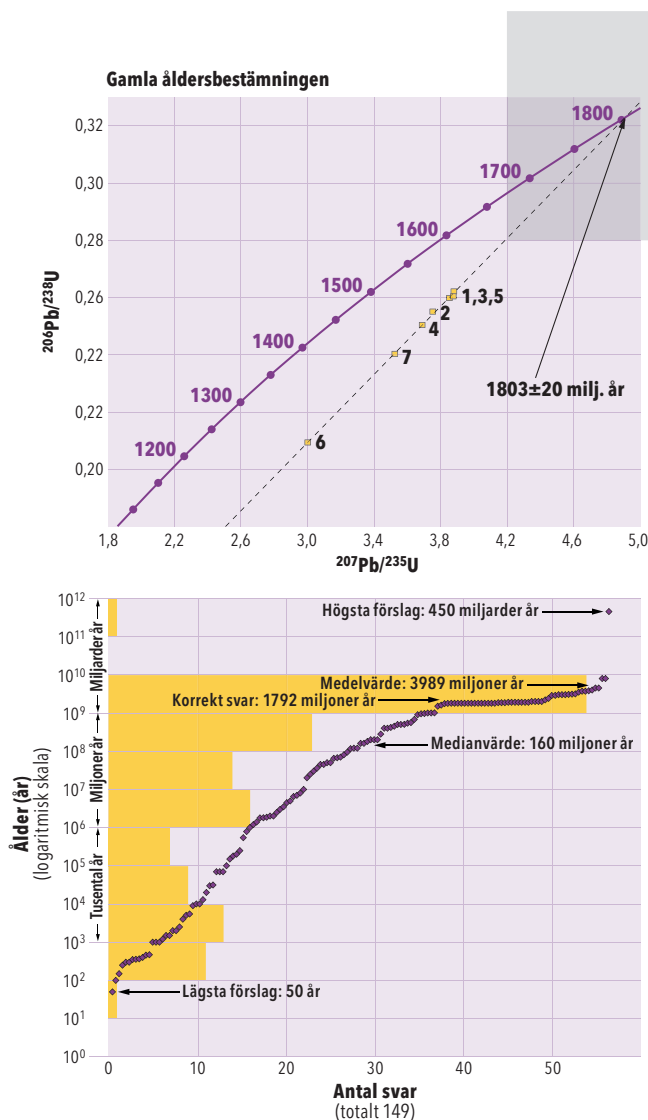
Denna åldersbestämning är en av de få som finns av berggrunden i själva Stockholm med omnejd, och den är redovisad på den karta över Stockholmstraktens berggrund som SGU gav ut år 2001. Åldersbestämningen har också, på grund av dess lokala anknytning, använts i olika sammanhang på museet som exempel på hur man bestämmer bergarters ålder. Därför var det en smula olyckligt att resultatet var så pass oexakt.

Därtill kommer risken att den inte bara är oexakt, utan mer eller mindre felaktig. Zirkonkristaller kan nämligen innehålla olika delar bildade vid olika tillfällen. De flesta zirkoner har visserligen bildats när magman kristalliserade, vilket är den händelse vi i första hand vill datera. Men ibland kan zirkoner även ha påväxter bildade vid en senare metamorf händelse, eller innehålla kärnor från zirkoner som kommit från äldre bergarter som ingått i det material som smält upp för att bilda granitmagman.

Att det skulle finnas metamorfa påväxter på Stockholmsgranitens zirkoner är kanske inte så troligt, då denna granit saknar metamorf påverkan. Däremot kan graniten, vars magma tros vara bildad genom uppsmältning av äldre bergarter i jordskorpan, ha haft så pass låg temperatur att zirkoner från dessa äldre bergarter inte helt har smält upp. Det kan därför finnas nedärvda zirkonkärnor.

Om man då löser upp hundratals zirkonkristaller, utan att vara helt säker på att en del av dessa inte innehåller äldre kärnor, är det svårt att utesluta att den ålder man får har blivit för hög genom påverkan från sådana kärnor. Det kändes därför önskvärt att göra om åldersbestämningen med modernare teknik.





Ovan till vänster: Konkordiadiagram med resultatet från den gamla åldersbestämningen av Stockholmssgraniten. Punkterna 1–7 visar de olika storleksfraktioner av zirkoner som analyserats. Åldern bestäms av den övre skärningspunkten mellan diskordialinjen (regressionslinjen) genom de olika punkterna och den teoretiska konkordiakurvan (i lila). Här har man fått 1803 ± 20 miljarder år.

Ovan till höger: Motsvarande diagram för den nya åldersbestämningen. Analyspunkterna (gula ellipser) sprider något på ömse sidor om konkordiakurvan (i lila) och ger en genomsnittsålder på 1792 ± 4 miljarder år. Observera att skalorna är olika i de båda diagrammen. Den grå ytan i den vänstra bilden motsvarar hela diagramytan till höger.

Till vänster: Resultatet från tävlingen i samband med Geologins Dag 2018. Svaren på frågan om hur gammal man tror att graniten under Cosmonova och Naturhistoriska riksmuseet är fördelade sig så här. De blå punkterna representerar enskilda svar. De gula staplarna visar hur många av dessa svar som föll inom respektive åldersintervall.

Den nya åldersbestämningen

Den nya åldersbestämningen gjordes våren 2018 med den nordiska jonmikrosonden Nordsim, som finns på Naturhistoriska riksmuseet. En jonmikrosond kan beskrivas som en mycket stor och avancerad masspektrometer.

Med jonmikrosonden kan man analysera 10–20 mikrometer stora punkter i enskilda, utvalda zirkonkristaller. Zirkonkristallerna sitter ingjutna i en puck av epoxiplast som har polerats ner så att man får en genomskärning av varje kristall.

Kristallerna studeras sedan både i ljusmikroskop och i elektronmikroskop där man kan se deras inre struktur, exempelvis om de verkar ha nedärvda kärnor eller metamorfa påväxter, innan själva analysen görs. Kärnorna och påväxterna kan man sedan undvika vid analysen, om man nu inte är speciellt intresserad av just dessa. Man kan också undvika sprickor eller inneslutningar, liksom grumliga partier i kristallerna, vilka ofta är metamikt och diskordanta.

Genom att koncentrera sina analyspunkter till klara zirkonkristaller, eller delar av zirkonkristaller, med ett tydligt magmatiskt utseende, kan man få betydligt pålitligare analysresultat som oftast plottar på eller nära konkordiakurvan. Den enskilda analysen blir visserligen inte så precis,

eftersom det handlar om så lite material som analyseras, men genom att analysera kanske 15, 20 eller 25 punkter i olika kristaller (och ibland flera i samma kristall) kan ändå en rimligt precis ålder erhållas vars geologiska innebörd (nedärvd, magmatisk eller metamorf) går lättare att tolka.

I detta fall gjordes nitton olika analyser i lika många kristaller. Fem av dessa träffade trots allt metamikt partier, vilket resulterade i stora analysfel, och dessa analyser gick inte att använda. De övriga fjorton analyserna visar en viss spridning på båda sidor av konkordiakurvan, men är långt ifrån så diskordanta som de gamla resultaten. En av de nya analyserna avvek en del i sina värden, medan de övriga tretton gav en genomsnittsålder på 1792 ± 4 miljarder år.

Denna ålder är således mer precis än den gamla på 1803 ± 20 miljarder år. Man kan också vara rätt säkra på att detta verkligen är en magmatisk ålder som visar Stockholmssgranitens kristallisation, och som inte har påverkats av äldre zirkonkärnor eller yngre påväxter.

Endast något enstaka exempel på vad som kunde vara äldre kärnor hittades i de zirkoner som undersöktes, och inga metamorfa påväxter. Det är dock möjligt att den gamla åldern på drygt 1800 miljarder år har inkluderat en

STOCKHOLMSGRANITEN

Stockholmsgraniten är en medelgrovt till relativt finkornig, odeformerad granit som bildar flera mindre massiv i norra delen av Stockholm, och ett större, mer sammanhängande massiv i Täby-Vallentunaområdet en bit längre norrut.

I de mindre massiven har graniten oftast en grå färg, medan den i Täby-Vallentunamassivet oftast är ljusröd. Den räknas till de sen-svekofenniska graniterna som intruderade i ett sent skede av den svekofenniska orogenesen (bergskedjeveckningen), efter det att omgivande äldre berggrund deformerats och metamorfoserats.

Stockholmsgraniten anses ha bildats genom uppsmältning av äldre material från jordskorpan. Sammansättningen är vanligen rent granitisk, och den åtföljs av rikligt med pegmatiter som både kan skära igenom själva graniten och förekomma i omgivande äldre berggrund.

En av dessa pegmatiter, Ytterbypegmatiten på Resarö nära Vaxholm, är känd för sin rikedom på ovanliga mineral från vilka inte mindre än nio olika grundämnen upptäckts. Ytterbypegmatiten har tidigare brutits på fältspat till porslinsframställning, varefter det underjordiska brytningsrummet användes som oljelager. Själva Stockholmsgraniten bröts tidigare vid Stenhamra på Färingsö väster om Stockholm för framställning av gat- och kantsten åt Stockholms kommun.

mindre andel material från äldre kärnor, och att den därför ligger något i överkant. Den nya åldern på ca 1790 miljoner år för Stockholmsgranitens intrusion och kristallisation får därmed anses som mer korrekt. En mer utförlig vetenskaplig artikel har nyligen publicerats i tidskriften GFF.

Men vad tror folket?

Under Geologins Dag på Naturhistoriska riksmuseet i september varje år brukar vi ha någon form av tävling för att fånga in besökarna redan i entrén. Det kan vara en geologisk tipspromenad eller att gissa antalet bergkristaller i en glasburk.

Förra året (2018) tyckte vi att det skulle vara spännande att låta besökarna gissa åldern på den omdaterade graniten under museet, för att se vilka svar vi fick. Ett prov av bergarten ställdes fram som blickfång och en tävlingsblankett gjordes i ordning vilken inkluderade en kort beskrivning av hur åldersbestämningar går till. Förstapris för den som gissade närmast var Geologins Dags stenlåda med 12 vanliga mineral och 12 bergarter.

Sammanlagt fick vi in 149 svar. Som väntat varierade svaren vilt, från 50 år till 450 miljarder år, och åskådliggörs därför bäst på en logaritmisk skala. Medelvärdet av gissningarna blev 3989 miljoner år (starkt påverkat av de högsta gissningarna), medianvärdet däremot bara 160 miljoner år. Resultatet är således långt ifrån normalfördelat. Betraktar man det högsta svaret, 450 miljarder år, som oseriöst (det är ju betydligt högre än både solsystemets och universums ålder), och stryker detta, får man ett betydligt lägre medelvärde på 975 miljoner år, medan medianvärdet endast påverkas marginellt nedåt till 140 miljoner år.

Det finns inom statistik ett begrepp som kan kallas "massans intelligens". Låter man folk gissa på exempelvis antalet karameller eller kvartskristaller i en glasburk, så kan de enskilda gissningarna variera starkt, men med till-

räckligt många gissningar närmar sig medelvärdet oftast det korrekta svaret. I vårt fall var dock förutsättningarna lite annorlunda, eftersom detta inte var en ren gissningsfråga, utan svaren påverkades av deltagarnas förkunskaper i geologi.

De besökare som svarade var ju inte ett genomsnitt av Sveriges befolkning, utan ett urval av människor där många hade ett speciellt intresse för geologi sedan tidigare och i några fall kanske gått någon universitetskurs i ämnet. Av svaren låg därför 54 st (36 %) inom tidsintervallet 1 till 10 miljarder år, varav hela 26 inom det för svekofenniska bergarter (som Stockholmstraktens berggrund består av) rimliga tidsintervallet 1750 till 1900 miljoner år.

Påfallande många hade gissat just 1800 miljoner år, och en familj med fyra personer hade lämnat in tre svar på 1803 miljoner år och ett svar på 1800 miljoner år. Vid en efterföljande telefonkontakt erkände de att de googlat fram svaret; resultatet av den tidigare åldersbestämningen fanns sedan tidigare på museets hemsida och kunde alltså googlas fram. Den som vann stenlådan var dock en man som gissat 1790 miljoner år, inom felmarginalen samma resultat som den nya åldersbestämningen. Detta resultat fanns ännu inte utlagt på hemsidan eller publicerat på annat sätt, och gick därför inte heller att googla fram.

Den största gruppen svar återfanns alltså i intervallet över 1 miljard år, med en topp nära den riktiga åldern, och därefter kom svar i intervallet 100 miljoner år till 1 miljard år. De flesta verkar alltså ha koll på att vår berggrund är mycket gammal, åtminstone vad det gäller Geologins Dags besökare. Men sedan fanns det en svans av svar hela vägen ner till 50 år, med en mindre topp runt 1000 år.

Möjligen kan några ha missuppfattat frågan till att gälla åldern för det lösa stenblocket som visades upp, snarare än själva bergartens ålder. De flesta av dessa svar är dock förmodligen från barn, för vilka 100 eller 1000 år är något oerhört väldigt gammalt. Hade vi även haft en ruta för svarandens egen ålder på svarsblanketten skulle vi ha kunnat se om detta stämmer, och om det således fanns en korrelation mellan svarandens egen ålder och vilken ålder de gissat att Stockholmsgraniten hade. ♦

Läs mer

- Ivarsson, C. & Johansson, Å. 1995. U-Pb zircon dating of Stockholm granite at Frescati. GFF 117, 67–68.
Johansson, Å. 2002. Att fånga tiden ... åldersbestämning av mineral och bergarter. Geologiskt forum nr. 35, 18–23.
Johansson, Å. 2019. A refined U-Pb zircon age for the Stockholm granite at Frescati, east-central Sweden. GFF, DOI: 10.1080/11035897.2018.1555186.
Persson, L., Sträng, M. & Antal, I. 2001. Berggrundskartan 101 Stockholm, skala 1:100 000. Sveriges geologiska undersökning Ba 60.



Åke Johansson är berggrundsgeolog och isotopgeolog, och Andreas Karlsson är intendent i mineralogi, båda vid Naturhistoriska riksmuseet.
ake.johansson@nrm.se



I det här provet har vi letat efter kobolt och selen i pentlandit och magnetkis. De små runda kratrarna från laserablationen är tydliga.

100 µm

Bland malmmineral, elektroner och laserstrålar

Hur bildas mineraliseringar? Hur ser malmen ut i detalj? Och vilka metoder ska man använda för att utvinna metaller? Detta är några av de frågor som forskare på Luleå tekniska universitet försöker svara på med hjälp av olika analysmetoder.

TEXT OCH BILD: GLENN BARK & HELEN THOMAS

Forskargruppen inom malmgeologi på LTU arbetar sedan mitten av 1990-talet med studier av olika malmtyper, och alla dominerande malmtyper som förekommer i Sverige har studerats. Forskningen bedrivs i nära samarbete med gruvindustrin och fokus är huvudsakligen på tre olika perspektiv: hur malmerna har bildats, hur malmernas mineralogiska och kemiska sammansättning ser ut, och hur malmerna förhåller sig till de regionala (och lokala) strukturerna i jordskorpan.

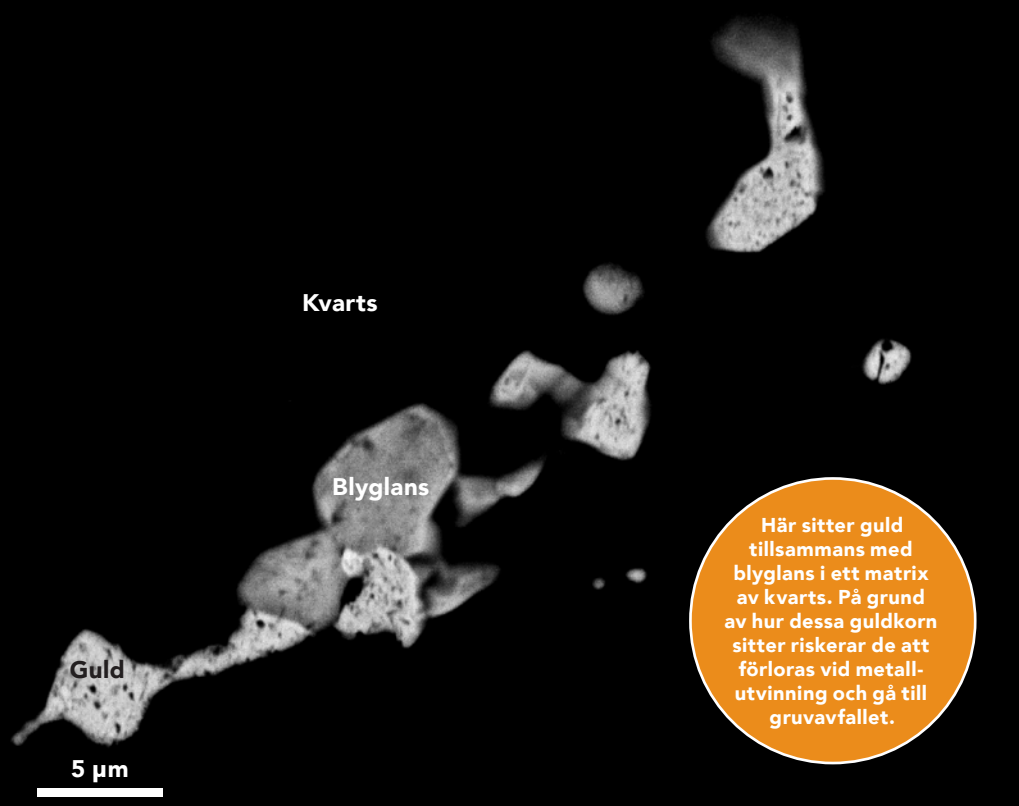
Ofta drivs forskningsprojekt tillsammans med grupperna inom tillämpad geokemi, prospekteringsgeofysik, mineralteknik och processmetallurgi, vilket resulterar i att forskningen spänner från tidig mineralprospektering till färdig metallurgisk produkt, inkluderat olika miljöaspekter inom gruvbrytningen. Inom de mineralogiska studierna karaktäriseras malmerna i detalj med fokus på bland annat mineralsammansättning och fördelningen av olika spärelement i mineralen.

Kunskap om malmernas detaljerade mineralogi ger förutsättningar för en förbättrad mineralprospektering och

en effektiv mineralprocess vid utvinningen av metaller, samt ett mer hållbart nyttjande av mineralresursen genom att även spärmetaller (t.ex. energikritiska metaller) karaktäriseras och därigenom kan utgöra bonusmetaller för industrin. Det arbetas mycket med att få gruvindustrin mer hållbar och då är dessa typer av undersökningar, som genomförs i nära samarbete med industrin, av stor vikt för att kunna nyttja en större del av den befintliga mineralresursen och därmed minska avfallet.

Karaktäriseringens analyskedja

Inom malmkaraktäriseringen används flera typer av analysmetoder som finns tillgängliga vid LTU:s avdelning för geovetenskap och miljöteknik. Dessa metoder omfattar alltifrån optisk mikroskopering och svepelektronmikroskopi till automatiserad mineralogi (QEMSCAN, Quantitative evaluation of minerals by scanning electron microscopy) och laserablation ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry).



Läs mer om kritiska metaller och vilka dessa är i artikeln av Erik Jonsson m.fl. på sidan 10.

Arbetet i de olika laboratorierna bedrivs mestadels som forskningsprojekt, men även genom att svenska och internationella företag och forskningsinstitutioner regelbundet kontakter oss för mindre uppdrag. Vi är öppna och diskuterar gärna möjligheter till samarbete.

Normalt påbörjas undersökningen av det prov som ska karaktäriseras med optisk mikroskopi. Här identifierar vi de mineral som finns i provet utifrån deras optiska egenskaper, och vi undersöker också texturerna i provet, dvs. hur mineralen förhåller sig till varandra.

När vi identifierat intressanta områden i provet går vi vidare till laboratoriet för svepelektronmikroskopi där den kemiska sammansättningen på de olika mineralen undersöks med både energi- och våglängdsdispersiv spektrometri.

Svepelektronmikroskopi (SEM) är en teknik där en elektronstråle i vakuummiljö fokuseras på en fast provyta. Elektronerna i strålen interagerar med elektroner i provet vilket genererar olika typer av signal som kan detekteras och ge information om provytans topografi och kemiska sammansättning. I svepelektronmikroskopet undersöks också texturer som kan vara av intresse för det specifika projektet.

Om det är viktigt för projektet att kvantifiera texturerna, dvs. ange om en viss textur är dominerande för en malmfyndighet, så tar vi provet till QEMSCAN-laboratoriet. Där kan vi till exempel analysera exakt vilka mineral som guld eller kobolt är associerade med. Resultat från en sådan QEMSCAN-analys ger viktig information som man har nytta av när man ska bestämma vilken process som ska användas för att utvinna metallerna.

Om vi letar efter spårmetaller i provet, så är en naturlig nästa station vårt laboratorium för laserablation ICP-MS. Här fokuserar vi en laserstråle på provets yta och gräver in några tiotals mikrometer bred grop i provet. Provmassan som "grävs loss" fångas upp i en gasström och analyseras i masspektrometern. Denna metod klarar av att upptäcka mycket låga koncentrationer av spårämnen i mineral, koncentrationer som man inte kan se i t.ex. SEM eller elektronmikroskop (EPMA) som är en annan vanlig undersökningsmetod för mineral.

Vårt laboratorium för laserablation ICP-MS är ett av få liknande laboratorier i Europa som är dedikerade till malmmineral. Normalt anses malmmineral vara "smutsiga" och de flesta laboratorier vill inte ta sig an den här typen av prover. Men om man t.ex. vill undersöka kritiska metaller i provet så sitter dessa ofta bundna i små mängder i andra mineral. Om man då inte kan analysera med laserablation ICP-MS, så är det svårt att veta hur spårmetallerna sitter rent textuellt och därmed försvåras utvinningen av dessa.

Om det finns behov av att undersöka ännu lägre koncentrationer av något grundämne eller om vi vill undersöka olika isotopsystem i provet så kan vi lösa upp provet, men då tappar vi den rumsliga upplösningen. Därefter tar vi provet till vårt andra laboratorium för masspektrometri och analyserar med multicollector ICP-MS som är en känsligare analysmetod.

För att testa vilken metallutvinningsmetod som är bäst har vi sedan årtionden ett gott samarbete med forskargrupperna inom mineralteknik och processmetallurgi som ligger på samma institution. Sedan ett par år har vi även samarbetat med ett laboratorium för röntgentomografi vid LTU för att expandera karaktäriseringen från två till tre dimensioner. Samtidigt genomför vi under våren i år tester av våra karaktäriserade prover vid en synkrotronanläggning i Taiwan, för att gå från mikroskala till nanoskala i karaktäriseringen. ♦



Glenn Bark är universitetslektor och Helen Thomas forskare på Avdelningen för geovetenskap och miljöteknik vid Luleå tekniska universitet.
glenn.bark@ltu.se

Minnesord

Robert Lagerbäck



Statsgeologen Robert Lagerbäck avled den 31 augusti 2018 två dagar före sin 73-årsdag. Han sörjs närmast av hustrun Birgitta och sönerna Jonas och Måns med familjer.

Robert bedrev sina akademiska studier vid Stockholms universitet åren 1966–1974 och utmärkte sig som en synnerligen duktig elev. Studierna omfattade utöver geologiämnena även marklära, geokemisk prospektering, analytisk kemi och botanik.

1968 började han om somrarna arbeta vid Sveriges geologiska undersökning (SGU) med jordartskartering i Västernorrlands län. Efter fem somrars arbete fick han anställning vid SGU, först med uppgift att ta hand om verkets torvarkiv och från 1975 vid malmprospekteringen i övre Norrland inom det s.k. Nordkalotts-

projektet. Där fick han utlopp för sin kreativitet då han utarbetade en ny typ av kvartärgeologiska kartor, anpassade för malmprospekterings speciella behov.

På dessa kartor låg tonvikten på de landskapsformer, såväl stora moränformer som isräfflor, som utvecklats under olika nedisningsepoker. Detta var nödvändigt för att spåra klyftorten till de block av mineraliserade bergarter som man fann. Det krävdes en god kunskap om den geologiska utvecklingen, med omväxlande istider och mellanistider, avspeglade i lagerföljden i jordtacket. Då behövdes

djupa provgropar och för att skaffa sig sådana utbildade sig Robert på eget bevåg i sprängteknik och anlidade gärna grävmaskiner från orten. Han tog också flygcertifikat för att på egen hand få en bra överblick över landskapets former från luften.

Genom hans arbeten erhöll vi en ny och förbättrad bild av istidernas växlingar och deras påverkan av spridningen av block med malmförande bergarter, innebärande nya möjligheter att lokalisera malmer i berggrunden.

Under dessa arbeten fick Robert möjlighet att studera förkastningar

i berggrunden, uppkomna vid jordskalv i samband med inlandsisarnas avsmältning. Utöver förkastningarna identifierade han jordskred och jordlager som rörts om av den seismiska aktiviteten. Dessa arbeten har fått stor betydelse vid diskussionerna angående deponeringen av kärnbränsleavfall i berggrunden, exempelvis vid Forsmark. Robert gjorde omfattande arbeten med detta på uppdrag av kärnkraftsmyndigheterna.

Sammantaget har Roberts arbeten gett oss en ny bild av inlandsisens och vegetationens växlingar under de senaste ca 100 000 åren. De har inneburit ett nytt paradig i det geologiska tänkandet. Isen har inte alltid varit den väldiga bulldozern som utplånat alla äldre jordlager, så som man ibland föreställt sig den. Robert visade att det tidigare antagna avbrötet i den senaste nedisningen i själva verket var två, av honom benämnda Tarendö 1 och 2. (Senare har Karin

Helmens visat att de t.o.m. varit tre – jfr Geologiskt Forum nr 70.)

Miljön under Tarendö-interstadialerna har kunnat klarläggas med hjälp av biostratigrafiska analyser. Robert samarbetade med ett flertal forskare som analyserat såväl mikro-fossil (pollen, kiselalger) som makro-fossil (mossor, insekter) i de organiska lagren.

Hade Robert varit intresserad av akademiska meriter hade han utan tvivel slutat som geologiprofessor men hans främsta intresse var att ta reda på sanningen om utvecklingen under kvartärtiden. Han trivdes ute i naturen och var som klippt och skuren för de ofta fysiskt tuffa förhållandena under fältarbete i nordligaste Sverige. Han blev mycket olycklig då verkets skyddsombud förbjöd honom att ligga ensam ute i fält i ödemarken. Han beordrades att åka med helikopter till och från arbetsområdet varje dag i stället för att ensam leva det fria liv som han älskade, något som var till nackdel både för projektets ekonomi och för Roberts trivsel.

Efter pensioneringen fortsatte Robert på eget bevåg och bekostnad sina arbeten, under de sista 15 åren utsträckta främst till landets sydligaste delar. Hans sista publikation, utkommen en kort tid före hans död, gällde den senaste inlandsisens påverkan på landskapet i södra

Sverige. På många håll upptäckte han gammal vindslipning som vittnade om tidvis isfria förhållanden med bistert klimat. Tre månader före sin död kunde han presentera sina viktiga resultat i ett föredrag, men tyvärr avbröt en alltför tidig död hans fortsatta arbete.

Robert Lagerbäck var en eldsjäl, helt orädd att utmana rådande hypoteser. Vid flera tillfällen ventilerade han sin uppfattning i fält i främmande miljöer, t.ex. i Tibet och Sydafrika. Vi är många som med glädje och tacksamhet minns hans trevliga och påkostade exkursioner, under vilka han ibland hyrde grävmaskin för att kunna visa lagren på djupet.

Han kan liknas vid en modern upptäcktsresande i geologi med sin nyfikenhet och breda kunskaper och nytolkning av klimatförändringarna under den senaste istiden.

Med Robert Lagerbäcks bortgång har svensk geologi förlorat en av sina främsta gestalter. Han var inte endast en teoretiker, generös humanist, nyfiken, envis och energisk, utan även synnerligen praktiskt inriktad. Hans intensiva arbete för geologin hindrade inte att han även kunde ägna mycken tid åt familjens hem och sommarstället på Norröra, där hans praktiska handlag kom väl till sin rätt. ♦

Jan Lundqvist och Ann-Marie Robertsson.

Till vänster: Robert tog flygcertifikat för att kunna studera sina områden från luften.

Nedan till vänster: Robert tog gärna hjälp av grävmaskin vid fältarbete och exkursioner för att kunna visa jordarternas lagerföljd.

Nedan till höger: Robert studerar en vindslipad håll – ett av hans speciella intressen även efter pensioneringen.



FOTO: GUNNEL RANSEID.

Minnesord Harald Agrell

Förste statsgeolog Harald Agrell, Uppsala, avled 28 april 2018 efter nyss fyllda 71 år. Vi är många vänner och kollegor som minns den färgstarke Harald som något av ett levande uppslagsverk.

Harald var mycket kunnig inom geologiska sakfrågor, men också brett allmänbildad i en tid innan googlandet fått fullt genomslag.

Uppvuxen i Danderyd och med studentexamen från Mörby läroverk 1966 hittade Harald snabbt till geovetenskapen och kvartärgeologin. I rask takt tog Harald en fil.kand. i Stockholm (1969), fil.lic. i Uppsala (1972) och disputerade sedan på en avhandling om deglaciationen i Sommen-Åsundenområdet 1974. Därefter fortsatte Harald som forskarassistent i kvartärgeologi vilket bland annat resulterade i en docentur 1978. Harald anställdes på SGU som extrageolog redan under studietiden år 1968.

Vimmerbylinjen och högsta kustlinjen

Harald var geologiskt mycket bred och allmänbildad, men hade sina vetenskapliga rötter och främsta meriter inom kvartärgeologin, framför allt glacialgeologi. 1976 beskrev Harald den numera välkända Vimmerbylinjen.

Inom avhandlingsarbetet inleddes även en systematisk dokumentation och sammanställning av HK-lokalerna i Småland (publicerat i Boreas 1976) och fortsatte sedan i hela Sverige. Fältanteckningar och dagböcker, tryckta kartor, kartmanus, beskrivningar och rapporter inventerades för att identifiera HK-lokalerna i hela Sverige. Harald intervjuade också flera geologer för att förvissa sig om att ingen HK-lokal glömdes bort. Det sägs att den sista av de 937 HK-lokalerna som finns i SGUs databas fångades in på telefon från kollegan Jan-Olov Svedlund, direkt från fältarbetet.

Tidig förespråkare för geoturism

Inom SGUs jordartskartering var Harald troligen den ende geolog som har varit kartbladsansvarig för ett område som täcks av en enda jordart. Det gäller Jordartskartan Gotska Sandön (SGU Ae 69). Harald hittade dock guldgruvet och var tidigt ute med att dokumentera och redovisa geologiska sevärdheter som ett separat tema för geoturism.

I augusti 2010 hade jag förmånen att tillsammans med Harald återbesöka Gotska sandön för att avgöra om sevärdheterna ännu skulle fungera som geoturistlokaler, nästan 30 år senare. Besöket var nyttigt; Arnagrop hade övergått i snårskog och förenat sig med Döda skogen.



FOTO: ANNA HEDENSTRÖM

De flesta lokalerna står sig dock fortfarande mycket bra som besöksmål. Bland annat finns här Höga Åsen som är en av de inlandsdynerna som, enligt Harald, med sina 25 höjdmeter platsar i en tätgrupp om cirka fem som kan aspirera på att vara Sveriges största dyn.

God berättare och påläst guide

Genom åren var Harald också varit en flitig arrangör av otaliga exkursioner där geologin ofta kompletterats med kriminal- eller industrihistoria, arkeologi eller annan intressant information om platsen.

Kollegor och "allmänhet" har guidats till Gotska sandön, "Upplands tak" i Västuppland, Fyrisåns dalgång, Stadsskogen, Kisa socken, odlingslandskapets geologi i Närke, Geologi utmed museijärnvägen Lennakatten m.m. Vi som deltagit i exkursioner som Harald arrangerat vet att han var mycket noggrann i sina förberedelser och planerade in i minsta detalj med stor omtanke för besökaren.

Förberedelserna inbegrep både att provata på lunchrestauranger, promenera med tidtagning av transportsträckor och annan planering för att kamrater och besökare skulle hinna hem i tid eller passa tågförbindelser.

Våren 2012 tilldelades Harald utmärkelsen NOR strax innan sin pensionering från SGU. Harald var en god kamrat och vi är många som är tacksamma att ha fått lära känna SGUs mest allmänbildade geolog. ♦

Anna Hedenström, SGU

På gång

13–14 april. Mineral- och smyckestensmässan i Göteborg.
Läs mer på www.geologerna.se/index.php?sida=mineralmassan

11 april. SGUs FoU-dag kl. 9–17. SGU arrangerar en dag där forskning och utveckling som finansieras av SGU presenteras.
Läs mer på www.sgu.se

9–10 maj. Planet Earth: A Scientific Journey. Aula Magna, Stockholms universitet. Läs mer på www.planetearthsymposium.org

11–12 maj. Sten & Smyckemässan 2019. Idéfarmen, Dunker Lundby, Malmö. Läs mer på idefarmen.se/sten-smyckemassan-2019/

1–2 juni. Norsk Mineralsymposium. Langesund Bad, Norge.
Läs mer på www.nags.net/Mineralsymposium/index.htm

17–18 juni. 4th World Summit on Climate Change & Global Warming. Osaka, Japan. Läs mer på www.meetingsint.com/conferences/climatechange

25–31 juli. INQUA 2019. Dublin, Irland. Läs mer på www.inqua2019.org/

27–28 juli. Kopparberg Stenmarknad. Kopparberg.
Läs mer på www.kopparbergstenmarknad.se

3–4 augusti. Sten- och mineralmässa. Falkängen, Hällekis, Kinekulle.
Läs mer på skaraborgsgeologiska.se

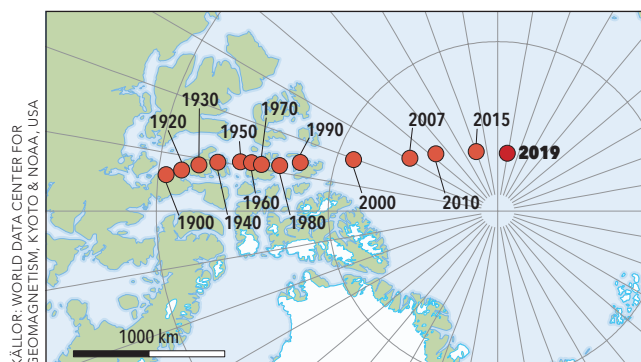
7 september. Geologins dag. Läs mer på geologinsdag.nu



FOTO: GUMISZA / WIKIMEDIA. (CC BY-SA 3.0).

Föreningens årsmöte i maj

Detta år planerar vi att hålla årsmötet på Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm den 12 maj. I samband med det planeras någon geologisk aktivitet. Håll ögonen öppna på hemsidan och Facebook för mer information. Medlemmar kommer också att få information skickad på mail.



Magnetiska nordpolen flyttar sig mer än förväntat

Modellen för jordens magnetfält uppdateras normalt vart femte år, men i år har man för första gången tvingats göra en extra uppdatering på grund av att den magnetiska nordpolen flyttat sig oväntat snabbt. Just nu ligger den mitt i arktiska oceanen och rör sig mot Sibirien med ungefär 54 kilometer per år. ♦

Källa: <https://www.ncei.noaa.gov/news/world-magnetic-model-out-cycle-release>

Luleå tekniska universitet avslutar sitt samarbete med Bergsskolan

Det är grundutbildningarna till bergsskoletekniker och högskoleingenjör som Luleå tekniska universitet har drivit och som nu avvecklas. Beslutet är taget i samförstånd mellan LTU och styrelsen för Utbildningsstiftelsen Bergsskolan som är de som driver Bergsskolan.

LTU:s utbildningar vid Bergsskolan har sedan en tid dragits med ett ekonomiskt underskott orsakat av ett vikande antal studenter. För att ekonomin skulle vara i balans behövdes detta läsår 200 studenter, men hösten 2018 registrerades endast 36 nya studenter till universitetets utbildningar vid Bergsskolan. De studenter som redan läser vid de berörda utbildningarna på Bergsskolan kommer att kunna slutföra dem.

Bergsskolans rektor Jan Håkanson poängterar att det bara är de utbildningar som har Luleå tekniska universitet som huvudman som avvecklas. Övrig verksamhet med projekt, företagssamverkan och fortbildnings- och kompetensutvecklingskurser berörs inte. Bergsskolan kommer också att undersöka möjligheten att starta motsvarande utbildningar inom ramen för en Yrkeshögskola. ♦

Källa: Luleå tekniska universitet.

POSTTIDNING B
Geologiska Föreningen
c/o Tellurit AB
Storgatan 11
972 38 Luleå

Geologiska Föreningen tackar sina sponsorer för 2019

Platinasponsorer



UPPSALA
UNIVERSITET



Stockholms
universitet

Institutionen för geologiska vetenskaper
Institutionen för naturgeografi

LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

Guldsponsorer

NEW **BOLIDEN**



LUNDS
UNIVERSITET

LKAB



GÖTEBORGS UNIVERSITET



Larvikit i sockeln
till hotell Avalon
på Kungstorget
i Göteborg.