

Geologiskt forum



TEMASEKTION OM RADIOAKTIVT AVFALL

De små under jorden	3
Djupförvar av använt kärnbränsle	9
På spaning efter en plats för djupförvar	13
Planering av berganläggningar i 3D	18
Överjordiskt – underjordiskt	21
Mineralfynd i Sverige 1998	24
Geologin i näringslivet: SGAB Analytica	25

För efterkommande 4000 generationer

Säkerhetsfrågorna kring det radioaktiva avfallets förvar var temat för Geologiska Föreningens årsmöte i maj. Några av föredragen återges i artikelform i detta nummer av Gf. De ger lägesbilder av delar av pågående arbeten inför ett eventuellt beslut om anläggandet av ett djupförvar av använt kärnbränsle. Karsten Pedersens inledande artikel är en spännande skildring av hur en till synes enkel fråga kan leda till forskningsresultat av överraskande och fundamentalt betydelse, inte bara avseende avfallets säkerhet utan även för frågan om livets uppkomst på jorden. Kaj Ahlbom beskriver kort SKB:s uppdrag och de föreslagna tekniska lösningarna på ett djupförvar. I den tredje artikeln förklarar Michael Stephens och Torbjörn Bergman hur den geologiska undersökningen och värderingen av berggrunden går till. Slutligen ger Sven Tirén, Per Askling och Stefan Wänstedt exempel på modern digital visualiseringsteknik vid planering av djupt belägna underjordsanläggningar.

Kärnkraftens risker och avfall debatterades nog livligast på 70-talet. Haveriet i Three Mile Island-reaktorn 1979 fick politikerna i bl.a. Sverige att besluta om att frågan skulle avgöras i en folkomröstning. Som bekant resulterade den i en majoritet för fortsatt utnyttjande av kärnfission som energikälla, om ock med flera inskränkningar, som vi då och då påminns om. Huvudfrågorna gällde dels risken för haveri i en reaktor, dels hur avfallet skulle hanteras. Nuförtiden är det inte många som förfasar sig över riskerna med denna energiutvinning; tjugo års fortsatt drift inger förtroende och en känsla av säkerhet. Men kvar är avfallsfrågan. I flertalet kärnkraftsländer riktas nu blickarna mot berggrunden. I några har man kommit längre; i t.ex. Finland har ett djupförvar börjat anläggas och i USA kommer ett att snart tas i bruk även för civilt kärnavfall.

En bild framtonar hos mig då kärnavfall kommer på tal. Originalet är ett 1700-talsstuck föreställande en grävande gubbe, och bredvid på marken en trädplanta och en vattenkanna. I bildens övre del står FÖR EFTERKOMMANDE. Det är en vacker bild av en syssla fylld av omtanke om framtida släktled, helt utan egen vinning. Men i den bild jag ser är den späda plantan utbyt看t mot en kapsel med påmålad strålningsymbol. Texten kan då tydas: till skydd FÖR EFTERKOMMANDE och FÖR EFTERKOMMANDE att ta hand om.

Fascinerande är den tid det gäller. Etthundratusen år. Med ett möjligen mer fattligt mått innebär det att förvaret skall kunna ge säkert skydd för upp till 4000 generationer! Man kan filosofera kring detta, och möjligen lugna sig med att "redan" om 80 generationer har farligheten minskat till en tiodel av nutida nivå. Allt under förutsättning att förvaret håller i enlighet beräkningar och antaganden. Det är därför trösterikt att finna att de undersöknings- och planeringsarbeten som pågår görs grundligt och efter bästa förmåga. Man bör nog inta en rationell attityd till avfallsfrågan. Vår livsstil kräver en jämn och säker tillgång på elektrisk energi. Avfallet kan inte trolas bort. Förvaret kan säkert bli säkert, men av nödvändighet u.p.a.

Björn Sundquist



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

Geologiskt forum avser att utgöra länken mellan de yrkesmässigt verksamma geologerna och alla de personer som har geologiska intressen av något slag.

Tidskriften publicerar populärvetenskapliga artiklar inom hela det geologiska fältet. Den informerar om litteratur, händelser och personer med geologisk anknytning, och är ett forum för åsikter och debatt.

Geologiskt forum utges av Geologiska Föreningen, som bildades 1871 och är Sveriges riksförening för geologi. Tidningen utkommer med fyra nummer per år och sänds utan särskild kostnad till föreningens medlemmar (ang. medlemskap se sidan 32).

Redaktionsråd: Jan Bergström, Holger Buentke, Ingemar Cato och Dan Holtstam.

Redaktör och ansvarig utgivare:
Björn Sundquist

Redaktionens adress:
GF:s red., %o SGU, Box 670, 751 28 Uppsala
tel 018/179276, fax 018/516767, e-post gff@sgu.se
Internet http://www.sgu.se/gf

Prenumeration, enstaka nummer och tidigare årgångar beställs hos:
Swedish Science Press, Box 118, 751 04 Uppsala
tel 018/365566, fax 018/365277, e-post ssp@kuai.se
postgiro 489 78 50-6, bankgiro 914-4601

Prenumerationspriset för 1999 är 100 kr.

ISSN 1104-4721



Gf sammanställs på en Macintosh-dator med hjälp av Microsoft Word®, Adobe PageMaker® och Adobe Photoshop®. Den överförs på film och trycks av Wikströms Tryckeri AB i Uppsala i 1200 ex. och distribueras av Swedish Science Press.

Annonser mottages gärna, i fotooriginal eller som elektroniskt dokument i TIFF- eller EPS-format. Storlekar (i mm) och priser:

helsida	154x210	2500 kr
halvsida	75x210 el. 154x103	1500 kr
kvarssida	75x103 el. 154x50	900 kr

Omslaget

Det korkskruvsformade föremålet är en stenätande bakterie som kan leva långt ner i underjorden. Kan bakterien påverka kopparkapslarna med radioaktivt avfall som skall förvaras i berggrunden? Läs om detta och andra frågor i temasektionen om kärnkraftsavfallet på sidorna 3–20.

De små under jorden

KARSTEN PEDERSEN

Livet på jorden sträcker sig inte bara ut sig på fastlanden, i haven och i luften. Forskning under nittioalet har visat att det finns ett myller av mikroorganismer djupt nere i underjorden, kanske i en viktsmängd som överstiger vikten av alla organismer här uppe hos oss. Det är möjligt att livet funnits längre i underjorden än på ytan. Allt fler vetenskapsmän håller idag för troligt att livet uppkom någonstans i de geologiska djupen av vår planet och att det funnits där sedan dess.

Det fanns en tid när man trodde att möjligheten att leva i underjorden snabbt minskade med djupet. Mätningar visade på ett sjunkande antal mikroorganismer med djup och redan efter någon meter ned i jorden var antalet mikrober mycket lågt. Det ansågs rimligt att trenden fortsatte med djupet vilket ju betydde att man skulle nå noll ganska snart och därefter skulle underjorden vara steril. Tidigt på 1900-talet fanns motsägsfulla uppgifter som berättade om mikroorganismer i prov från kilometerdjupa oljekällor, men de avfärdades med motiveringen att det rörde sig om föroreningar som förts ned från ytan under borrningar och oljeutvinning. Detta argument framförs fortfarande emellanåt som en förklaring till resultat som visar att liv kan finnas djupt ner i jorden. Genom noggranna förberedelser och specialutvecklade provtagningsprocedurer har man dock de sista 10 åren kunnat bekräfta att liv i form av mikroorganismer verkligen finns och lever varaktigt på stora geologiska djup, ner till åtminstone 3500 m i vår jord. Med enstaka undantag har prov från underjorden alltid varit bemängda med mikroorganismer, ibland i förhållandevis stora antal. De centrala frågorna om de små under jorden berör hur länge det har funnits mikroorganismer i djupet av vår planet, hur hamnade de mikroskopiska livsformerna på olika platser i underjorden, och inte minst, vad lever de underjordiska av?

Uppkom livet i underjorden?

En mycket central vetenskaplig såväl som filosofisk frågeställning är den om hur livet en gång uppkom på jorden. Trots frågans centrala ställning i vårt medvetande vet vi mycket lite om hur det gick till, eftersom alla spår, såvitt man vet, från den tid livet började på vår jord har utplånats. Människans okunnighet i denna fråga har dock inte hindrat henne från att i alla tider fundera och presentera modeller över hur livet tog sin början. Forskare i naturvetenskap har två huvudspår med många varianter. Det första spåret innebär att livet började med oorganiska ämnen där svavel, järn och vätsgas tjänade som energikällor, koldioxid som kolkälla och urcellen

kunde redan från början själv tillverka allt den behövde för sin levnad. Det andra spåret förutsätter att livet uppstod som en följd av att det bildats stora mängder organiska föreningar på jorden vid tiden för livets uppkomst, "den organiska ursoppan". Denna soppa skulle det tidiga livet då ha använt för att fylla sitt behov av energi och organiska föreningar.

Liv idag tycks finnas överallt på jorden där det finns vatten och där temperaturen tillåter, och därför bör man inbegripa de flesta av dessa miljöer när man söker platsen för livets vagg. Många hävdar att man förutom jorden också ska inkludera andra himlakroppar och rymden när man söker finna livets födelseort. Tiden efter det att jorden bildats var förmodligen mycket varm med omfattande vulkanisk aktivitet. Dessutom var jorden utsatt för ett intensivt bombardemang av meteoriter som inte avtog förrän jorden funnits i närmare 1000 miljoner år, dvs. för cirka 3800 miljoner år sedan. Eftersom fossil visar att trådbildande bakterier fanns för 3500 miljoner år sedan och kemiska fossil pekar mot att liv fanns redan för 3850 miljoner år sedan måste tidpunkten för livets uppkomst ligga tidigare i jordens historia. I den tidiga jordatmosfären fanns inget syre och därför inte heller något ozon som kunde skydda det nyfödda livet mot den intensiva ultraviolettera strålningen från solen och rymden. Många har funderat på hur det liv, som idag är så oerhört känsligt för ultraviolett och annan strålning, kunde starta och utvecklas på jorden yta. Dessutom anser många att det meteoritbombardemang som jorden var utsatt för vid tiden för livets uppkomst kunde vara så kraftigt att världshaven helt förångades av den energi som frigjordes vid större träffar av meteoriter. Förutom problemet med ultraviolett ljus och meteoriter, så bör det ständigt ha inträffat stora vulkanutbrott som lagt enorma områden under lava och aska. Sådana utbrott har alltid förekommit i jordens historia. Vid tiden för dinosauriernas utdöende lade en jättevulkan nästan hela indiska halvön under massiva aska- och lavabäddar och den förmörkade säkert hela jordens yta under en lång tid. Ett uppenbart sätt att undvika dessa faror vore förstås att gömma sig i un-

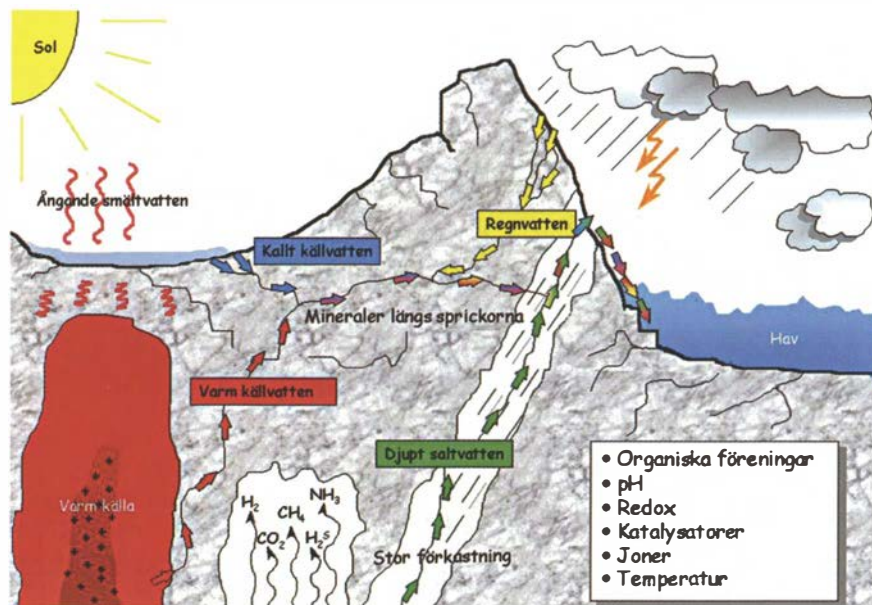


Bild 1. Underjorden bjuder på oändliga möjligheter att blanda vatten med olika kemiska och fysikaliska förutsättningar. Bilden visar en godtycklig serie blandningar av vatten med olika egenskaper. Vilken den rätta ordningsföljden bör vara för att liv ska uppstå, återstår att forska fram. Underjorden skyddar mot rymdens faror. Den är dessutom rik på ytor och metaller, som kan hjälpa till att katalysera de reaktioner som föregick livets uppkomst och som förmodligen sedermera ingick som naturliga komponenter i livets centrala metaboliska vägar. De ämnen som stiger uppåt vid pilarna i bilden är vätgas (H_2), koldioxid (CO_2), metan (CH_4), vätesulfid (H_2S) och ammoniak (NH_3).

derjorden (Bild 1). I det djupa berget är det varmt och man kan lätt hitta spricksystem, som blandar vatten med olika innehåll och därmed skapar de energigradienter som säkert behövdes. Idag tror vi att det finns liv överallt i underjorden där det finns vatten och livsenergi och där temperaturen inte är för hög (max. $113\text{ }^{\circ}\text{C}$). Forskare har t.ex. rapporterat att de funnit värmeälskande mikrober 3500 m under Siljan, i det så kallade Gravbergshålet. På ett sådant djup skulle ett bräckligt och nyfött liv förmodligen till och med överleva direkträffar av meteoriter och det vore naturligtvis helt skyddat mot strålning från rymden samt säkert också skyddat för effekten av ett vulkanutbrott, såvida det inte råkade finnas direkt i magmakammarens väg.

Kan det ha varit så att livet föddes i underjorden, växte sig starkt där, och när tiden var mogen steg upp till jordens ytvattensystem, såg solen och utvecklade fotosyntesen? Är detta antagande riktigt så har liv naturligtvis funnits i underjorden betydligt längre tillbaka i tiden än på jordytan. Frågan om hur livet hamnade i underjorden måste riktas om – hur och när nådde livet varaktigt jordens yta? Resonemang av detta slag upplevs emellanåt provocerande. Skulle vi människor, av oss själva utnämnda till skapelsens krona, verkligen härstamma från underjorden? Redan på medeltiden och ännu tidigare visste man ju vem som bor där – hädiska tanke! För många andra är dock idén att livet uppstått i underjorden stimulerande. Man har insett att liv på andra planeter inte nödvändigtvis måste sökas på ytan. Möjligheterna för liv är förmodligen betydligt större i planeternas inre, men då rör det sig troligen om mycket små invånare, inte gröna gummor och gubbar eller andra så kallade "humanoider" (citrat *Star Trek*).

Stenätarna

I slutet av 1800-talet ansåg man att organiskt material bara kunde bildas genom växternas fotosyntes. Den banbrytande ryske mikrobiologen Sergej Winogradskij (1856–1953) visade då, för cirka 100 år sedan, att vissa kemosyntetiserande bakterier kunde bilda organiskt material av koldioxid med energin från oxidationen av vissa järn- svavel- och kväveföreningar samt av vätgas. Denna grupp mikroorganismer gavs så småningom samlingsnamnet kemolitotrofer (Bild 2A–C). Lito är en sammansättningsform av grekiska *lithos* som betyder sten. Trof kommer av grekiska *trophé* vilket betyder näring. Kemolitotrofer är således organismer som får kemisk energi och näring ur sten i meningen icke organiska föreningar – populärt uttryckt – de är stenätare. Stenätarna har en stor fördel i förhållande till alla de organismer som lever av organiskt material. Dessa är beroende av växternas fotosyntes eller av organismer som i ett eller flera led lever av varandra med en växtätare som bas. Stenätarna behöver inga fotosyntetiska organismer och de är därmed helt oberoende av solen. Denna egenskap innebär ju bland annat att de är mycket väl anpassade att leva under jord dit solen aldrig når. Organiska ämnen från jordytan når sällan ned till de stora djupen, de äts upp på vägen som ofta är mycket lång. Ett svenskt grundvatten från 500 m djup är ofta tusentals år gammalt i den meningen att det lämnade jordens yta för så länge sedan. Underjorden är på många platser rik på vätgas och metangas. Dessa gaser kan tjäna som energikälla för stenätare. Det råder fortfarande en viss osäkerhet här vad gäller omfattningen av metankonsumtion i djupen, men vätgasätare finns det gott om i underjorden. Precis som andra organismer kan leva av växter, kan underjordiska

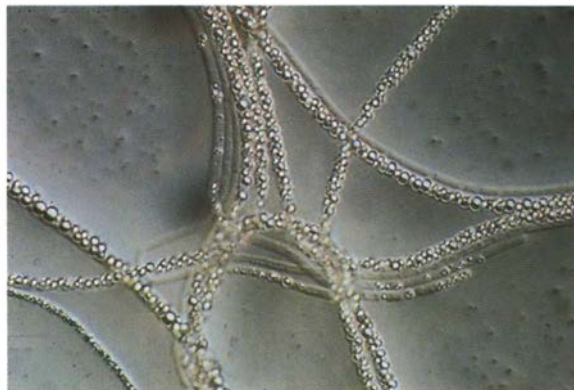
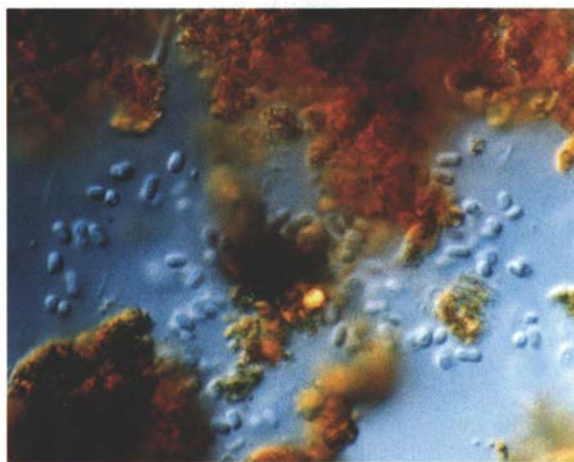


Bild 2. Stenätare har ofta uppseendeväckande former och påverkar ofta påtagligt sin omgivning. Några exempel: Bild 2a (ovan). *Gallionella ferruginea* är en kemolitotrof stjäkförsedd bakterie. Den kan således få energi till sin levnad från oorganiska föreningar, i detta fall från tvåvärda järnföreningar. Den består av en karaktäristisk böjformad cell från vilken en tvinnad stjälv av polysackaridfibriller utgår. Stjälken är en extracellulär struktur som bildas av den levande cellen. Undersökningar visar att *Gallionella* kan bilda stjälv med en hastighet av 20 gånger sin egen längd per dygn. *Gallionella* förs i allmänt tal till en heterogen grupp bakterier som kallas järnbakterier. Då *Gallionella* kan oxidera lösliga tvåvärda järnföreningar till olösliga trevärda järnföreningar innebär förekomst av denna bakterie ofta problem. Det finns många exemplar på hur *Gallionella* satt igen värmepumpar och dräneringssystem och förstört dricksvatten.

Bild 2b (övre till höger). *Thiothrix* är en svaveloxiderande, trådbildande bakterie som lever av sulfid, ett ämne som är ytterst giftigt för oss människor men nödvändig för överlevnaden av bakterien på bilden. *Thiothrix* lagrar svavel i form av elementärt vitt svavel som små pärlor inuti sina celler och i ett makroskopiskt perspektiv är kolonier med denna bakterie kritvita.

Bild 2c (undre till höger). *Siderocapsa* utnyttjar oxidation av oorganiska manganföreningar för sin levnad. När manganet oxideras fastnar det på bakteriens utsida och bakterien blir så småningom helt omgiven av manganoxider och den kan inte upptäckas utan att man gör sönder manganbotten.



organismer leva av vätgasämnena. Underjorden kan ha näringskedjor precis som på jordytan men det är inte moder sol som driver på, det är moder jord själv som frigör den nödvändiga energin.

Det finns en grupp forskare, dit jag även räknas, som är övertygade om att de första livsformerna på jorden var stenätare och att de utvecklades i en mycket varm miljö, sådär 70–100 °C. Ännu idag är påfallande många stenätare också förtjusta i höga temperaturer, t.ex. i varma källor. Vi håller också för troligt att teorin om att livet uppkom i en organisk ursoppa är en myt. Kontroversiellt? Ja men samtidigt är det oerhört svårt att slå håll på gamla myter utan att vara provocerande.

Varma källor idealisk hemvist för stenätare

Det har alltid funnits mängder av olika slags varma källor på jorden, både på land och på havsbotten. Ytvatten, eller havsvatten, trängde då som nu ned under

markytan eller havsbotten, vid sidan av dessa varma områden. Nere i djupet intill den varma källan värms vattnet av vulkanisk aktivitet och stiger upp mot ytan igen. På sin väg genom underjorden löser vattnet ut salter och metaller från bergarterna det passerar. Ämnena av vulkaniskt ursprung, bl.a. sulfid (svavel), vätgas, ammoniak, metan, vätgas och koldioxid blandas också in i vattnet.

När ett varmt källvatten så plötsligt kommer ut i havet eller i ett ytvatten inträffar något spännande. Det vatten som i underjorden var i jämvikt med sin omgivning kommer plötsligt i kontakt med vatten av en helt annan sammansättning och jämvikten förändras. När dessa vatten blandas blir energi tillgänglig och den energin är mikroorganismerna kring dagens varma källor mestare på att utnyttja (Bild 3). Ett exempel är de svaveloxiderande bakterierna som tar ut energi ur omvandlingen av sulfiden i det varma källvattnet till sulfat. De gör detta med hjälp av det syre som finns löst i havs- och ytvattnet



Bild 3. Varma källor kan man påträffa i områden där jordskorpan är tunnare än normalt så att grundvattnet värms och stiger upp till markytan, ibland under högt tryck. Bilden visar en varmkälla i Yellowstone National Park, Montana, USA, ett av världens rikaste områden på varma källor. När man letar efter bakterier i kokande vatten från jordens inre hittar man dem också. Det finns vissa bakteriearter som kräver temperaturer upp emot kokpunkten för att kunna växa. När vattnet rinner ur källan svalnar det efterhand och andra mikroorganismer, röda, bruna och gröna, tar över. Det sägs att en tränad mikrobiolog kan avgöra vattnets temperatur enbart genom att studera vilka mikroorganismer som växer där.

och energin använder de till att omvandla koldioxid till organiskt material. Det labila tillstånd som inträder när vatten av olika sammansättning blandas har alltid funnits och erbjuder gratis lunch till den som förstår sig på att utnyttja förhållandet. Många tror att det var här livet fann den energi som måste till för att det skulle kunna uppstå – energi är ett av livets grundläggande behov. En nackdel med varma miljöer är att organiska föreningar sönderfaller fortare där än i kalla miljöer och detta kan naturligtvis ha haft en hämmande inverkan på möjligheten för liv att uppstå där. Emellertid är det i varma källor på havsbotten inte fråga om mer än några centimeter innan det 350 grader heta källvattnet genom blandning med havsvattnet kyls ner till några tiotal grader. Mikroorganismerna behöver bara välja lämpliga platser i denna temperatur-gradient där uppbyggande och nedbrytande krafter balanserar varandra.

De djupa sedimenten på kontinenterna

Miljöerna där de små under jorden lever är många och de skiljer sig åt i flera viktiga avseenden. Många av de stora kontinenterna består av sedimentära bergarter som kan ligga i flera kilometer tjocka lager ovanpå hårt, magmatiskt berg. Särskilt den Amerikanska kontinentens underjord har studerats i omfattande undersökningar. Många borrhål har borrats med noggrann kontroll vad gäller risken för kontaminering av proverna. Det har visat sig att ett mycket stort antal olika arter av mikroorganismer ligger begravda i de sedimentära bergartslagren. Man har samlat på sig över elva tusen isolat från Nordamerikas underjord och det går bra att beställa (gratis) och arbeta vidare med dessa arter från den speciella mikrob-bank som upprättats. Mikroorganismerna i Amerikas berggrund fördelar sig lite olika i antal beroende på typ av sedimentbergart, porositet, tillgång på organiska föreningar m.m., men ofta finner man hundra tusen till

hundra miljoner bakterier per gram sediment. Hur kom de dit? Jo, man tror att de huvudsakligen hamnade i sedimenten när dessa en gång avsattes i havet för många miljoner år sedan och att de har överlevt sedan dess. Det betyder att dessa småttingar och deras anförvanter kan överleva i underjordiska sediment upp till en kvarts miljard år. Man har funnit att organismerna i dessa miljöer är mycket stillsamma av sig, antagligen för att på så vis spara på de knappa tillgångarna av energi och näring som finns på dessa djupa. Vem har för övrigt bråttom i ständigt mörker utan vare sig arbets- eller årstider?

Sprickorna i hårda magmatiska bergarter gömmer myriader mikroorganismer

Det är stor skillnad på de nordamerikanska sedimentmiljöerna och vårt eget hårda berg i Skandinavien. Huvuddelen av den Baltiska skölden (större delen av Skandinavien, se Gf nr 10, 1996, s. 3–7) består av bergarter som varit så varma att de mer eller mindre smält för att sedan stelna igen. Inget liv kan överleva en sådan process. Finns det liv där har det kommit senare. Så snart dessa magmatiska bergarter kallnat och stelnat börjar de så sakta spricka av spänningar i jordskorpan och grundvatten kan sippra in från angränsade och svalare bergsmassiv, och med grundvattnet följer dess ständiga följeslagare, mikroorganismerna. Så fort temperaturen understiger +113 °C är liv möjligt. Det kan således fortfarande vara ganska varmt ur ett mänskligt perspektiv, när livet träder in på scenen. Åtskilliga forskare anser att livet faktiskt uppstod under mycket varma förhållanden och att många av de livsformer vi ser runt oss är en anpassning till kallare temperaturer. Det är ju lätt att tro motsatsen, att de värmeälskande organismerna skulle ha anpassat sig till högre temperaturer, men då gör man nog en antropomorfistisk tankegroda – allt omkring oss måste inte ha sin grund i vår egen livsstil.

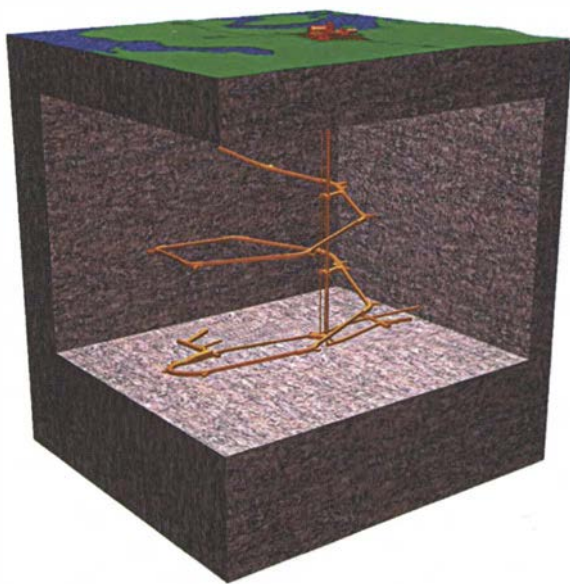
Bild 4. Svensk kärnbränslehanterings berglaboratorium sträcker sig 460 m ned i berget, 2 mil norr om Oskarshamn. Den 3600 m långa tunneln skruvar sig ned i berget och på olika platser pågår omfattande och intensiva experiment och tester som en del av förberedelserna inför byggandet av ett svenskt underjordiskt förvar av utbränt kärnbränsle.

Vem bor då under vår skandinaviska mark och vad lever de av? För cirka 14 år sedan ställde Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) en fråga till mig om huruvida det kunde finnas bakterier på förvarsdjup i det svenska urberget, dvs. på cirka 500 m djup. Den frågan blev inledningen till en lång serie undersökningar och vetenskapliga experiment och idag är vi aktivare än någonsin inom området. Det visade sig nämligen snart att grundvattnet på djup ner till det djupast undersökta, 1700 m, alltid innehöll bakterier; vanligen ungefär 100 miljoner bakterier per liter grundvatten. I dagsläget har vi studerat mikrobernas underjordiska liv på över 100 nivåer i mer än 60 borrhål på sju olika platser i Sverige och Finland. En stor del av våra undersökningar har genomförts i SKB:s världsunika bergslaboratorium på Äspö utanför Oskarshamn (Bild 4). Vi har även varit på långresor. Vi har letat efter och funnit bakterier i och kring de naturliga kärnreaktorerna i Gabon (se *Gf* nr 19, 1998, s. 3–5), i superalkaliska källor i Maqarin i Jordanien, och nyligen sökte vi efter liv djupt under Stilla havets botten.

För många var det länge lite av ett mysterium att mikroorganismer kunde finnas och leva på de stora djupen i den Baltiska skölden (Bild 5). Huvuddelen av allt grundvatten där nere har ju varit isolerat från jordytan i tusentals år och därmed också från solens livgivande fotosyntesprocesser. Inte kan man väl leva där? – För berg kan man ju inte leva av? Jo, det är inget större problem för stenätarna, åtminstone bildligt skrivet. Vi upptäckte tidigt att åtskilliga av de organismer vi hittade i underjorden kunde omvandla koldioxid till organiskt material. Uppföljande och mer ingående undersökningar i bergslaboratoriet på Äspö visade att berget där rymmer en stor mängd olika stenätare och många av dem har vätgas som energikälla. Analyser av gaserna lösta i grundvattnet har visat att vätgas förekommer allmänt i våra skandinaviska grundvatten och därmed fick frågan vad de lever av ett tillfredställande svar. Vätgas kan fungera som en underjordisk sol i den meningen att vätgasen är den grundläggande energikällan. Förutom vätgas hittar vi mycket metangas. Det finns många indikationer på att vissa mikroorganismer kan utnyttja metan som energikälla under syrefria förhållanden. Nästan alla underjordiska miljöer är anaeroba, dvs. fritt molekyllärt syre existerar inte. Möjligen är också metan därför en viktig energikälla för de små under jorden. Både vätgas och metan nybildas hela tiden djupt nere i jordskorpan och sipprar sakta upp till glädje och nytta för dem.

Livet under havsbottnarna

Kontinenternas sedimentbergarter har bildats i urtida



hav och eftersom vi hittar mikroorganismer långt nere i kontinenternas djup så bör de ju också finnas i de betydligt yngre havsbottnarna. Ocean Drilling Project är ett stort internationellt program som tillsammans finansierar ett borrhäckskepp med kapacitet att borra hål i havsbotten på stora havsdjup, 5–6 km eller mera. De borrhäcksman plockar upp visar att sedimenten i havet också innehåller massor med mikroorganismer. Under sedimenten finns en förhållandevis ung jordskorpa, aldrig mer än ca 160 miljoner år och yngre och yngre ju närmare man kommer de oceanryggar där jordskorpan nybildas. Även här, långt under havsbottnarnas sediment, finner man tecken på liv men detta forskningsområde är fortfarande mycket ungt. Det beror naturligtvis först och främst på otillgängligheten. Jag har svårt att tänka mig en besvärligare plats att leta efter mikroorganismer på om vi undantar våra grannar i planetsystemet.

När havsbotten nybildas väller lava ut från manteln och kallnar snabbt i kontakt med havsvattnet. Det bildas då vulkaniskt "glas", en form av amorf basalt som påminner om glas. När forskare nyligen studerade tunna sprickor i sådant glas fann man till sin förvåning tunna, tunna gångar som började på sprickyrtorna och borrhade sig inåt. De data som finns tillgängliga tyder klart på att det är fråga om stenätare i ordets verkliga bemärkelse, mikroorganismer som genom att lösa upp det vulkaniska glaset får energi till sin levnad. Det är dock ännu en delvis spekulativ hypotes, men inget har ännu kunnat fälla den. Forskare från mitt eget laboratorium var nyligen ute och samlade material från en mycket gammal del av havsbotten (leg 185), ca 160 miljoner år. Havsbotten blir inte mycket äldre innan den åter slukas av någon djuphavsgrov. Vi fick prov av basaltiskt material från 1000 m under havsbotten på 6000 m havsdjup utanför Japan och arbetet att med hjälp av molekyllärbiologiska metoder söka efter spår av liv är i full gång.

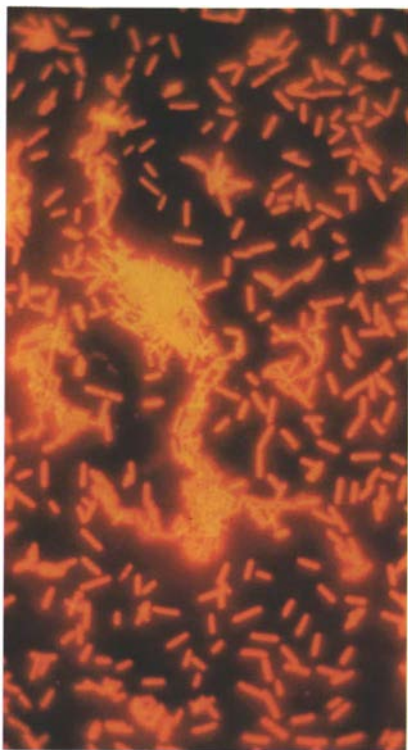


Bild 5. Mikroorganismer fäster gärna på ytor av olika slag. På bilden har de satt sig fast på en liten glasbit som fått sitta i sakta rinnande grundvattnet på 1240 m djup. En del av mikroberna har bildat små kolonier och det är ett klart bevis på att de lever, äter och förökar sig.

Biologisk geologi – finns det?

Liv har förmåga att påverka sin geologiska omgivning. Vittring av historiska monument är ett sådant fenomen (se *Gf* nr 4, 1994, s. 9–11). I underjorden finner man också geologiska spår efter mikrobernas arbete. Ett uppenbart exempel är pyritförekomst på sprickytor. Många av de grundvattenförande sprickorna i berget bär svavelutfällningar med sulfid som en ingående komponent. Sulfid bildas inte spontant vid låga temperaturer. Det är bara de så kallade sulfatreducerande bakterierna som i sin metabolism bildar sulfid av sulfat. Våra undersökningar av grundvatten i Skandinavien visar entydigt på att sulfatreducerare är mycket allmänt förekommande i underjorden. Många grundvatten innehåller löst järn. Järn kan bara finnas i löst form om surhetsgraden är mycket låg, eller om miljön saknar löst molekyllöst syre. Den form av järn (Fe^{2+}) som finns i många grundvatten orsakar svåra igensättningsproblem i brunnar och värmepumpar samt kan ge fula rostbeläggningar på badrumsporslin m.m. Dessa rostbeläggningar bildas när grundvattnet möter en syreinhållande atmosfär. Var kommer då järnet ifrån? Det har länge ansetts att oorganiska processer i underjorden kontinuerligt skulle nybilda löst järn, men hållbara modeller saknas. På senare tid har dock en biologiskt förklaring dykt upp. Jätnreducerande bakterier kan frigöra fasta järnföreningar (Fe^{3+}) från berget och omvandla dem till löst järn (Fe^{2+}) samtidigt som de bryter ned organiska föreningar till koldioxid. Tillförsel av organiska föreningar till under-

jorden, från ytan eller från stenätarna, kan i årsmiljon efter årsmiljon se till att löst järn bildas. Precis som med sulfatreducerarna har vi funnit massor med järnreducerare i nästan alla prover från underjorden vi studerat.

Koldioxid bildas när bakterier bryter ned organiskt material och stenätarna tar upp koldioxid och omvandlar det till organiskt material. Många mineral innehåller karbonat, som står i kemisk jämvikt med löst koldioxid i grundvattnet. Mikrobernas måltider påverkar därför direkt förekomsten av t.ex. kalciumkarbonat på sprickytorna i grundvattenförande sprickor. Det finns många fler exempel, men dessa tre illustrerar på ett tydligt sätt hur geologi och biologi ibland faktiskt är ett och samma ämne, ofta kallat mikrobiell geokemi, geomikrobiologi eller biogeokemi – kärt barn har många namn.

Slutord

Vår kunskap om livet i underjorden växer för varje dag. För 14 år sedan var det många som undrade om jag var riktigt klok som sökte liv djupt ner i det svenska urberget, allt liv där ansågs komma från jordytan i samband med penetreringen av berget. Idag innehåller många av de stora mikrobiologiska och geologiska konferenserna en eller flera sessioner om den underjordiska biosfären. Intresset ökar efterhand som vår kunskap djupnar och det tycker jag naturligtvis är mycket roligt. Livet i underjorden utgör ett av de sista okända ekosystemen att utforska. Det är lika nytt som regnskogarnas miljöer var för forskarna några hundra år tillbaka i tiden. Vår ökande kunskap om underjordens invånare kan leda till många nya idéer, inte minst hur man skall söka efter liv på andra planeter och vad man skall söka efter. Sambanden mellan geologiska, kemiska och biologiska processer klarar också alltmer och behovet av samarbeten över disciplingränser blir allt starkare. Biologer, geologer och kemister måste jobba tillsammans. Så har det varit inom SKB:s forskningsprogram en längre tid och det har också lett fram till nya spännande resultat – eller hur?

Litteraturtips

- Fredrickson, J.K. & Onstott, T.C., 1996: Microbes deep inside the earth. *Scientific American* 275, 42–47.
 Krajick, K., 1999: To hell and back. *Discover*, vol. 20, Nr. 7, 76–82.
 Pedersen, K., 1997: Tänk om livet uppstod i underjorden! *Forskning och Framsteg* 2/1997, 4–11.
 Pedersen, K., 1997: Microbial life in deep granitic rock. *Episodes* 20, 7–9.
 Pedersen, K., 1997: Livets ursprung - Gamla och nya perspektiv. *Naturvetenskapliga forskningsrådets årsbok* 1997, 9–20.
 Stephanie, P., 1998: The intraterrestrials. *New Scientist* 157, 28–32.
 Thorseth, I.H., Torsvik, T., Fumes, H. & Muehlenbachs, K., 1995: Microbes play an important role in the alteration of oceanic crust. *Chemical Geology* 126, 137–146.

Karsten Pedersen är professor i mikrobiologi vid avdelningen för mikrobiologi, Inst. för cell och molekyllär biologi, Göteborgs universitet, Göteborg; pedersen@gmm.gu.se

Djupförvar av använt kärnbränsle

KAJ AHLBOM

I Sverige har vi ett väl fungerande system för att ta hand om vårt radioaktiva avfall från kärnkraftverken, sjukhusen och industrin. Vad som återstår att göra är att lokalisera, bygga och ta i drift en anläggning för att inkapsla det använda kärnbränslet och ett djupförvar där det inkapslade avfallet ska deponeras.

Djupförvaret kommer att bestå av tunnelsystem på ca 500 meters djup. De flesta tunnlar blir depone-ringstunnlar med vertikala hål i golvet. I varje hål ska en kopparkapsel med använt kärnbränsle deponeras. Runt varje kapsel kommer att finnas en buffert av bentonitlera. När alla hål i en tunnel är upptagna fylls den igen med en blandning av lera och krossat berg. Även tunnlar och schakt till ytan fylls igen när allt bränsle har deponerats.

Väl på plats skyddas det använda bränslet av flera barriärer. Bränslet är mycket svårlösligt i vatten. Koppar-

kapseln klarar korrosion under 100.000 år eller längre. Bentonitleran förhindrar att vatten kan strömma kring kapseln och utgör ett effektivt filter för många radionuklider. Leran fungerar också som en buffert som motverkar att kapseln skadas vid förskjutningar i berget. Berget har en lämplig kemisk miljö för förvaret och ger ett mycket gott fysiskt skydd för de deponerade kapslarna. Det fungerar också som en effektiv fördröjande barriär om radionuklider skulle frigöras. Förvarsmetoden kallas för KBS-3 efter en säkerhetsanalys som fick en omfattande nationell och internationell granskning.

Kärnbränslet

Det använda kärnbränslet består till största delen av urandioxid i en keramisk struktur (liknande porslin). De flesta radioaktiva ämnen sitter fast i urandioxiden som är mycket svårlöslig i vatten. Bränslets svårlösliga egenskaper gör att det ibland räknas som en egen barriär.

Till skillnad från exempelvis kvicksilver och andra tungmetaller avtar farligheten hos använt kärnbränsle med tiden, eftersom radioaktiviteten avklingar. Det tar det några hundra år innan de lättlösliga och lättörsliga radionukliderna har avklingat och omvandlats till stabila isotoper. För några långlivade radionuklider med låg löslighet och låg rörlighet tar det ca 100.000 år innan de har avklingat till en farlighet

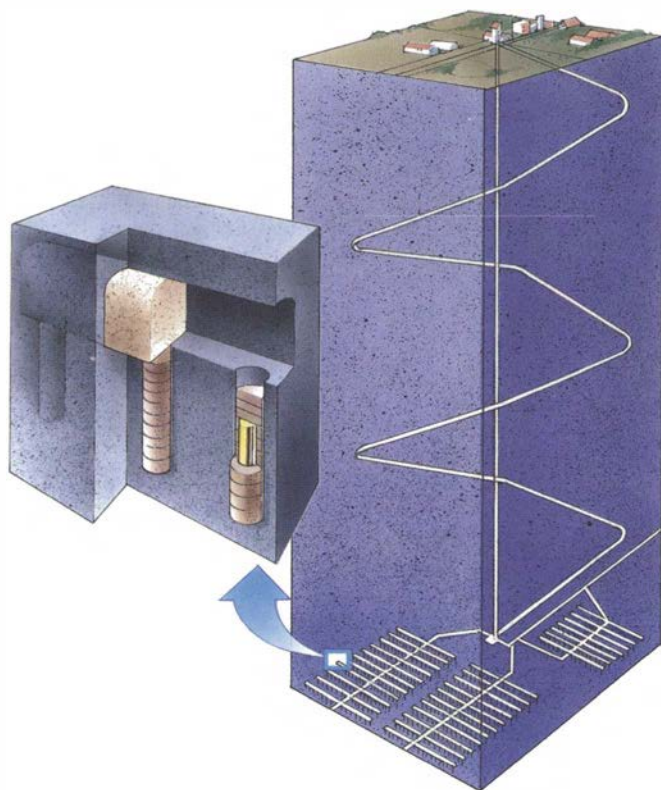


Bild 1. Djupförvaret för använt kärnbränsle består av olika barriärer som tillsammans hindrar de radioaktiva ämnena att komma ut i omgivningen.

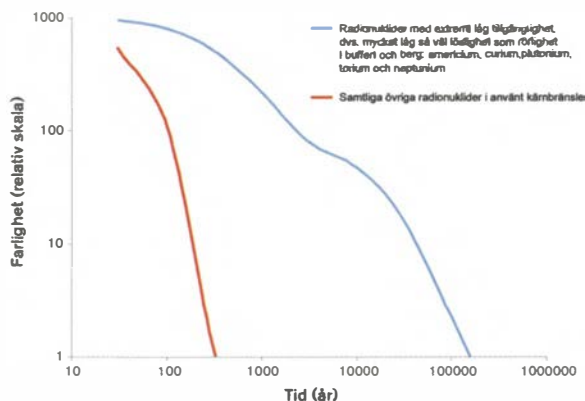


Bild 2. Det använda kärnbränslets farlighet förändras med tiden. Farligheten avser intag via föda och anges relativt den mängd naturlig uranmalm som använts för att tillverka bränslet.

som motsvarar den mängd naturlig uranmalm som använts för att tillverka bränslet.

Kopparkapseln och bentonitleran

Det faktum att radioaktiviteten minskar med tiden medförde att ingenjörer och geologer på 1970-talet fundrade över om det var möjligt att helt isolera det använda kärnbränslet under minst 100.000 år. Efter att ha studerat olika alternativ föll valet på en kapsel av koppar, bland annat beroende på att koppar inte korroderar i den syrefria miljö som finns i våra djupa grundvatten. Andra ämnen, som exempelvis vissa svavelföreningar, kan korrodera kopparn, men de finns normalt i så låga halter att de inte kan åstadkomma någon djupare korrosion på kapseln. En förutsättning är att grundvattnet flödar långsamt förbi förvaret så att tillförseln av oönskade ämnen därigenom begränsas. En i dag aktuell forskning berör inverkan av bakterier och hur denna eventuellt kan påverka bilden (se separat artikel).



Bild 3. Kopparkapsel med gjuten insats av järn.

Den kapsel som planeras att användas i djupförvaret är ca 5 m lång och har en diameter av ca 1 m. Den består av en inre behållare av gjutjärn för att tåla stora tryck (exempelvis från en inlandsis) och en yttre korrosionsbarriär av 50 mm koppar.

Varje kapsel omges av en 35 cm tjock buffert av bentonitlera. Bufferten skyddar kapseln från mindre rörelser i berget och håller den på plats. Lerbufferten har ytterligare två uppgifter. Dels ska den motverka korrosion genom att hindra grundvatten att nå kapseln på annat sätt än genom diffusion, dels ska den fungera som ett filter och fånga upp radionuklider om kapseln mot förmodan skulle skadas.

Berggrunden

Förvarets primära funktion är att helt isolera avfallet från människa och miljö. Om allt fungerar som det ska kommer denna funktion att bibehållas i 100.000 år eller längre. Berggrundens roll för isoleringen är främst att säkerställa en stabil kemisk miljö med låga halter av ämnen som skulle kunna påverka kopparkapseln eller bentonitleran. Vidare behöver berget vara mekaniskt stabilt så att bergrörelser inte kan skada kapslarna. Bentonitleran som omger kapseln är i detta sammanhang viktig eftersom den tillåter förskjutningar i berget (ca 0,1 m) utan att kapslarna skadas.

En annan aspekt är frågan om människan själv av misstag kan bryta isoleringen, exempelvis om förvaret glöms bort och någon borrar sönder en kapsel i samband med att man söker efter malmineral eller andra naturtillgångar. För att minska denna risk undviks geologiska miljöer som kan vara intressanta för malmprospektering, liksom ovanliga bergarter även om vi i dag inte kan se något specifikt användningsområde för dessa.

Grundvattnet på 500 meters djup har lämpliga kemiska egenskaper på de allra flesta ställen i landet. Erfarenheter från gruvor och andra undermarksanläggningar visar även att det går att identifiera en berggrund som tillåter stabila förhållanden för djupförvarets tunnelsystem under bygge och drift.

Stora bergrörelser vid jordskalv får inte skada förvaret. De skalv som har förekommit under historisk tid har haft en magnitud av fem eller mindre på den s.k. Richterskalan. Skalv med dessa magnituder är för små för att skada ett igenfyllt djupförvar. Vi vet dock att mycket större skalv förekom i vårt land för ca 10.000 år sedan när den senaste inlandsisen smälte. En fråga som har studerats är om liknande skalv skulle kunna skada ett förvar i skalvets närhet. Den forskning som bedrivs pekar på att så inte är fallet. Anledningen är att stora skalv sker i stora förkastningar. Sådana kan identifieras och undvikas i ett förvar. Vad som är intressant är vilka sekundära bergrörelser ett sådant stort skalv kan åstadkomma i sidoberget kring förkastningen. Preliminära studier visar att förvaret nog kan placeras från några hundra meter upp till en kilometer från en större förkastning utan att förvaret skulle skadas (vid jordskalv med

Bild 4. Vid Äspölaboratoriet bedrivs en stor del av SKB:s tillämpade forskning och teknikutveckling. Under "forskarbyn" finns tunnlar ner till 450 meters djup.



magnitud 8,2). Dessa studier kommer givetvis att följas av ytterligare forskning innan denna slutsats kan slås fast. Stora jordskalv förknippade med avsmältning av en större inlandsis förväntas inte uppträda förrän om många 10.000-tals år. Vid den tiden kommer avfalllets farlighet, och därmed även tänkbara konsekvenser om en skada ändå skulle uppstå, att ha minskat avsevärt.

Om isoleringen av någon anledning skulle skadas har berget en viktig fördröjande funktion. Tiden det tar för många radionuklider att transporteras från förvaret till biosfären är så lång att deras radioaktivitet hinner avta väsentligt innan den når människan eller hennes omgivning. Berget bidrar på flera sätt till fördröjningen. Tiden som det tar för grundvatten (och därmed för radionuklider lösta i grundvattnet) att röra sig i bergsprickor från förvaret på 500 meters djup till ytan kan vara tusentals år. Än viktigare är att radionuklider fastnar på sprickornas ytor och/eller tränger in i mikrosprickor med stillastående vatten. Detta medför att den tid det tar för radionukliderna att nå markytan blir betydligt längre än den tid det tar för grundvattnet att röra sig motsvarande sträcka. Man kan säga att bergets förmåga att fördröja och sprida har en fysikalisk del och en kemisk del. Den fysikaliska delen har att göra med hur grundvattnet rör sig i spricksystemet och bergets porer samt radionuklidernas fysikaliska egenskaper. Den kemiska delen har att göra med bergets och sprickornas mineralogi, grundvattenkemin och radionuklidernas kemiska egenskaper.

Forskningen idag

Exempel på frågor som studeras är hur stor påverkan det blir på berggrunden intill tunnlar vid brytning med olika metoder (sprängning och fullortsborrning), hur syre förbrukas i berget och hur gas transporteras i grundvatten. Ett viktigt forskningsområde är hur radionuklider sprids med grundvatten och med vilken noggrannhet denna spridning kan beräknas. Via borrhål i berggrunden vid Äspölaboratoriet (vid Simpevarp norr om Oskarshamn) injekteras radionuklider och andra spårbara ämnen till sprickor som noga har undersökts dessförinnan. Innan försöken genomförs får forskare från flera länder göra beräkningar på hur ämnena kommer att spridas. Beräkningarna jämförs sedan med försöken och orsaker till skillnader analyseras. Både beräkningarna och försöken visar att berget har en avsevärd förmåga att fördröja sådan transport och på så vis fungera som en barriär.

En viktig uppgift för Äspölaboratoriet är också att pröva och demonstrera förvarssystemet i full skala. Exempelvis utvecklas teknik för att täta berg, deponera kapslar, återfylla tunnlar samt återta deponerade kapslar. Ett viktigt projekt är byggnationen av ett prototypförvar. Detta kommer att byggas i en fullortsborrad tunnel på 450 meters djup. Preliminärt planeras för sex deponeeringshål i full skala med sex meter mellan hålen. Allt görs så lika det planerade djupförvaret som möjligt. Det enda som saknas är använt kärnbränsle i kapslarna. Den värme som bränslet kommer att generera simuleras med elektriska värmare.



Bild 5. Provbörning av deponeringshål. På bilden syns borrkrona samt överdelen av ett borrhål med diametern 1,5 meter.

Vill du med egna ögon se exempel på forskning som SKB bedriver är du välkommen att besöka Äspölaboratoriet (tel 0491-767800). Där anordnas guidade turer ner till försöksområdet.

Att lokalisera djupförvaret

Var djupförvaret skall lokaliseras är ännu inte bestämt. Översiktsstudier har gjorts för hela landet och länsvisa översikter har nyligen avslutats. Förstudier pågår nu i kommunerna Nyköping, Östhammar, Oskarshamn, Tierp, Hultsfred och Älvkarleby. I Storuman och Malå har förstudier genomförts men kommunerna har tackat nej till fortsatt medverkan. Under år 2001 hoppas vi att vara så långt framme att vi kan välja minst två platser för mer detaljerade studier. Nästa steg blir att genomföra detaljerade platsundersökningar, inkluderande omfattande borrhålsundersökningar ner till 1000 m. En redogörelse för några av de geologiska arbeten som görs för att lokalisera djupförvaret presenteras i en separat artikel.

Tidigast omkring 2006 bör en ansökan om att få bygga djupförvaret kunna vara färdig. Förutom att berggrunden

Bild 6. Kommuner där SKB gjort eller gör förstudier.



ska vara lämplig krävs att den plats man då valt även är lämplig med hänsyn till markanvändning och miljöaspekter, att den lämpar sig för att bygga anläggningar och transportleder samt, inte minst, att den aktuella kommunen ställer sig positiv till ett djupförvar.

Referenser och litteratur

- KASAM, 1999: *Kärnavfall, metod-plats-miljökonsekvens*. KASAM, Statens råd för kärnavfallsfrågor. SOU 1999:67.
- La Pointe, P., 1997: *A methodology to estimate earthquake effects on fractures intersecting canister holes*. SKB TR 97-07.
- Morén, L., 1998: *Använt kärnbränsle – Djupförvarets funktion och utveckling. En delrapport från "Beskrivning av risk"*. SKB R-97-21.
- SKB, 1998: *FUD-program 98. Kärnavfallens behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av in-kapsling och geologisk djupförvaring*.
- SKI, 1999: *SKIs utvärdering av SKBs FUD-program 98. Sammanfattning och slutsatser*. SKI Rapport 99:15.

Kaj Ahlbom är berggrundsgeolog och arbetar som projektledare för Svensk Kärnbränslehantering AB:s förstudie av Östhammars kommun; kaj.ahlbom@skb.se

På spaning efter en plats för djupförvar av använt kärnbränsle

MICHAEL B. STEPHENS & TORBJÖRN BERGMAN

En av samhällets viktiga, aktuella frågor gäller valet av en plats för ett djupförvar av hög-radioaktivt avfall från våra kärnkraftsverk. Under flera år har många problem som berör förvaring av detta avfall engagerat forskare inom olika områden, inte minst geovetare. Man kan påstå att valet av en säker plats för förvaringen huvudsakligen är av geovetenskaplig karaktär. Naturligtvis återkommer frågan: Var finns den säkraste platsen?

Denna artikel är ett försök att sammanfatta den del av det geovetenskapliga arbete som hittills har utförts för att hjälpa till att välja en plats för ett förvar av högradioaktivt avfall. Artikeln definierar också de geologiska kriterier som är av betydelse vid lokalisering av ett djupförvar och sammanfattar kort de viktigaste resultaten av de olika undersökningarna. Vidare presenteras en fälttekursion i ett av de områden som är aktuellt för vidare undersökning. Det är värt att komma ihåg att förvaret planeras att byggas på ca 500 m djup i berggrunden och ligga inom ett ca 1–2 km² stort område.

Studier av typområden, översiktsstudier, förstudier och platsundersökningar

Val av en plats för djupförvaret hanteras av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) och flera konsultföretag, universiteten och Sveriges geologiska undersökning bidrar med nödvändigt underlagsmaterial. Som en uppföljning av de detaljerade studier som utförts i några välavgränsade s.k. typområden har SKB utfört flera regionala översiktsstudier. Nyligen har till exempel en länsvis undersökning av de geologiska förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar slutförts. Det är bara

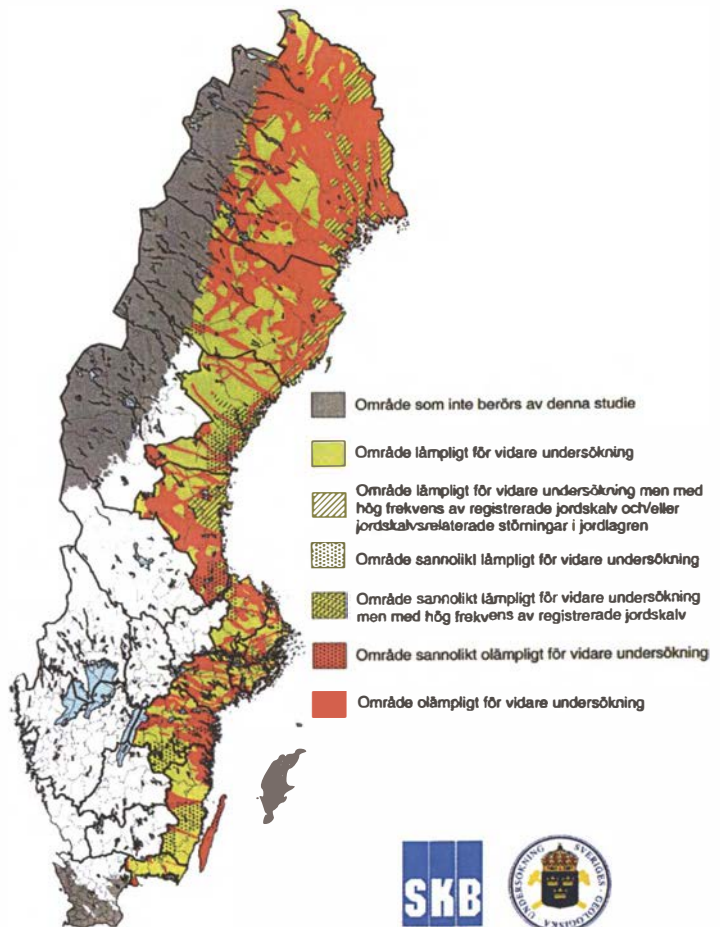


Bild 1. En sammanställning av de första tio länen visar att det finns lämpliga resp. olämpliga områden i samtliga länen. Områden där informationstätheten är låg (uttrycks med ordet "sannolikt" i förklaringen) och områden där jordskalvsfrekvensen är förhöjd har särskilt markerats.



Gotland, en stor del av Skåne och Kaledoniderna (ung. motsvarande vår fjällkedja) som utesluts från denna undersökning beroende på dessa områdens speciella geologiska förutsättningar. Tio rapporter, vilka översiktligt sammanfattar olika aspekter av geologin inom respektive län, publicerades av SKB 1998 (bild 1) och de resterande tio väntas utkomma under 1999.

Mer detaljerade undersökningar, s.k. förstudier, är slutförda i kommunerna Storuman och Malå, är mer eller mindre långt framskridna i kommunerna Nyköping, Östhammar, Oskarshamn och Tierp, och har nyligen påbörjats i kommunerna Hultsfred och Älvkarleby. Fältkontroll av några områden, som bedömts vara lämpliga för vidare undersökning, är klar i kommunerna Storuman och Malå (där senare folkomröstningar har sagt nej till fortsatt arbete) samt Östhammar, pågår i kommunerna Nyköping och Oskarshamn, och ska utföras år 2000 i kommunerna Tierp, Hultsfred och Älvkarleby.

Allt detta syftar till att skapa ett underlag för SKB att välja åtminstone två platser där ännu mer detaljerade undersökningar, inklusive kärnbörning och andra djupstudier, ska utföras, s.k. platsundersökningar.

Vilka är de viktiga geologiska kriterierna vid lokalisering av ett djupförvar?

De geologiska lokaliseringskriterierna som studerats är berggrundens sammansättning och homogenitet, berggrundens potential som mineral- eller bergartsresurs, regionala deformationszoner, sen- eller postglaciala förkastningsrörelser i jordskorpan (inklusive jordskalv i historisk tid), jordlagrens sammansättning och mäktighet, landhöjningen samt hydrogeologiska förhållanden. Dessa faktorer, som beskrivs mer ingående nedan, är viktiga vid den samlade bedömningen av förutsättningarna för ett djupförvar, dels med avseende på den långsiktiga säkerheten, dels med avseende på undersöknings- och anläggningstekniska förhållanden.

Berggrunden bör utgöras av en vanligt förekommande bergart med goda bergtekniska egenskaper. Inhomogen berggrund bör undvikas eftersom den är mindre förutsägbar och kan göra anläggningsarbetet mer komplicerat. Vidare bör bergarten inte vara eller förväntas bli aktuell som mineral- eller bergartsresurs så att brytning kan medföra att den långsiktiga säkerheten försämras i ett djupförvar.

Uthålliga deformationszoner, vilka dels innefattar områden med en hög frekvens av plastiska skjuvzoner (bild 2A), dels spröda sprickzoner och förkastningar (bild 2B) utefter vilka berggrunden rört sig, bör undvikas. Längs många zoner har de senaste rörelserna visserligen skett för hundratals miljoner år sedan men det finns en tendens att yngre rörelser följer äldre zoner, s.k. reaktivering. Eventuella framtida rörelser i berggrunden antas därför i stor utsträckning komma att ske längs tidigare utbildade deformationszoner. I plastiska zoner har berggrunden i många fall en inhomogen uppbyggnad (bild 2C) och bör också på grund av detta behandlas med för-

siktighet. Dessutom förekommer vissa mineraliseringar längs deformationszoner som då kan betraktas som potentiellt intressanta för malmutvinning. Slutligen kan dessa zoner medföra bergtekniska komplikationer.

Med sen- eller postglaciala förkastningsrörelser menas rörelser som har skett i samband med eller efter den senaste inlandsisens avsmältning för 14.000 till 8.500 år sedan. På samma sätt som för andra deformationszoner bör ett djupförvar inte placeras i närheten av en sådan förkastningszon. De först förväntade framtida rörelserna av betydelse i Sveriges berggrund är med största sannolikhet de som kan komma att utlösas i samband med avsmältningen av nästa inlandsis, om tidigast flera tiotusentals, möjligtvis 100.000 år.

Jordskalv visar på förekomsten av momentana berg-rörelser djupare ner i jordskorpan, till skillnad från t.ex. landhöjningen som är en kontinuerligt pågående rörelse. De flesta skalv i Sverige förekommer på 5–20 km djup. Studier i andra länder visar att skalv med magnitud 6 på Richterskalan eller större sker i kilometerlånga förkastningszoner. Zoner med sådan uthållighet bör kunna fastställas vid de olika undersökningarna och därmed undvikas i ett djupförvars närområde.

Uppsala universitets databas över jordskalv under historisk tid (sedan 1300-talet) i Sverige innehåller inga uppgifter om skalv med en magnitud större än ca 5. Men man kan inte bortse från möjligheten att en förhöjd frekvens av jordskalv även kan vara en indikation på förekomst av betydligt större skalv. Dessa större skalv kan ha skett med intervaller av många tusen år och därmed inte kommit med i tillgänglig statistik. Befintliga data antyder att förkastningsrörelser i Norrbotten i samband med den senaste inlandsisens avsmältning för ca 9.000 år sedan utlöste jordskalv med en styrka på över 8 på Richterskalan. Försiktighet bör därför iaktas vid lokalisering av ett djupförvar intill ett seis-miskt mer aktivt område. SKB bedriver forskning för att få fram kvantitativa kriterier för detta (se separat artikel).

Jordlagrens sammansättning och mäktighet saknar direkt betydelse för den långsiktiga säkerheten. Däremot påverkar dessa förhållanden förutsättningarna för att göra nödvändiga undersökningar av berggrunden inför lokaliseringen av ett djupförvar. Mäktiga och komplexa jordlager försvårar även själva anläggningsarbetet. Områden med betydande isälvsavlagringar bör i allmänhet också undvikas med tanke på deras stora betydelse för grundvattenförsörjningen.

De hydrogeologiska förhållandena är avgörande, särskilt för vad som sker om radioaktiva ämnen från ett djupförvar kommer ut i grundvattnet. Vattnets strömning i berggrunden avgör hur fort dessa ämnen kan komma att spridas eftersom spridningen antas ske via grundvattnet. Landhöjningen påverkar de hydrogeologiska förhållandena genom att grundvattnets strömningsmönster ändras. Den optimala lokaliseringen av ett djupförvar med hänsyn till grundvattenförhållandena är till ett område med så liten grundvattengenomsättning som

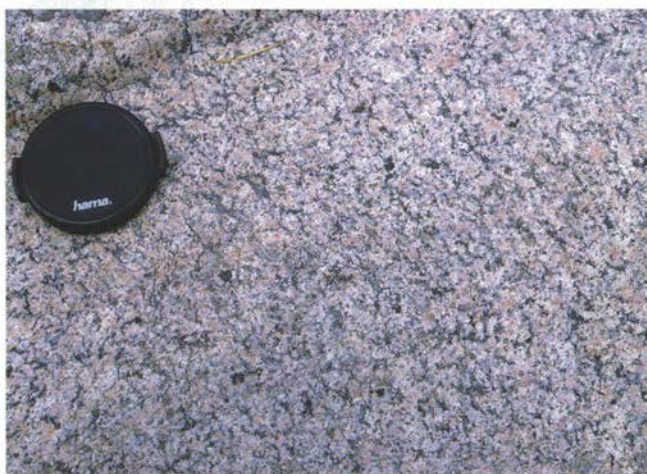


Bild 2. **A** (övre t.v.). Plastisk skjuvzon i omkristalliserad gabbro (metagabbro), norr om Forsmarksverket, Östhammars kommun. **B** (övre t.h.). Spröd deformationszon med kraftigt uppsprucken granit, Baggetorpskvarn nordväst om Oskarshamn, Oskarshamns kommun. **C** (undre t.v.). Inhomogen berggrund i en zon med kraftigt plastisk deformation, söder om Forsmarksverket, Östhammars kommun. **D** (undre t.h.). Homogen metagranit i en tektonisk lins sydost om Forsmarksverket, Östhammars kommun. Linsen ligger mellan två områden med en hög frekvens av plastiska deformationszoner.

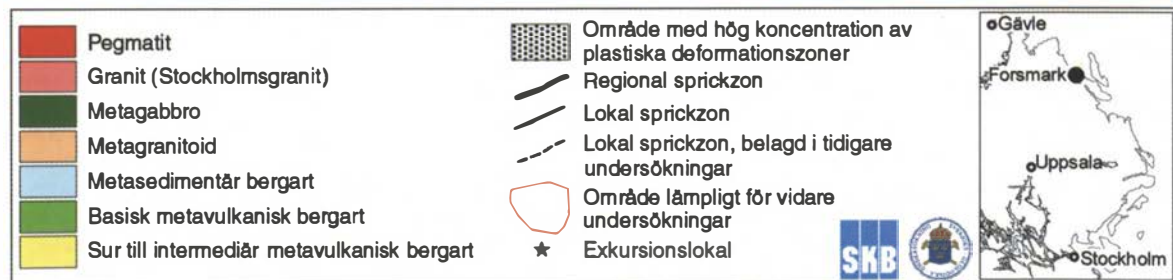
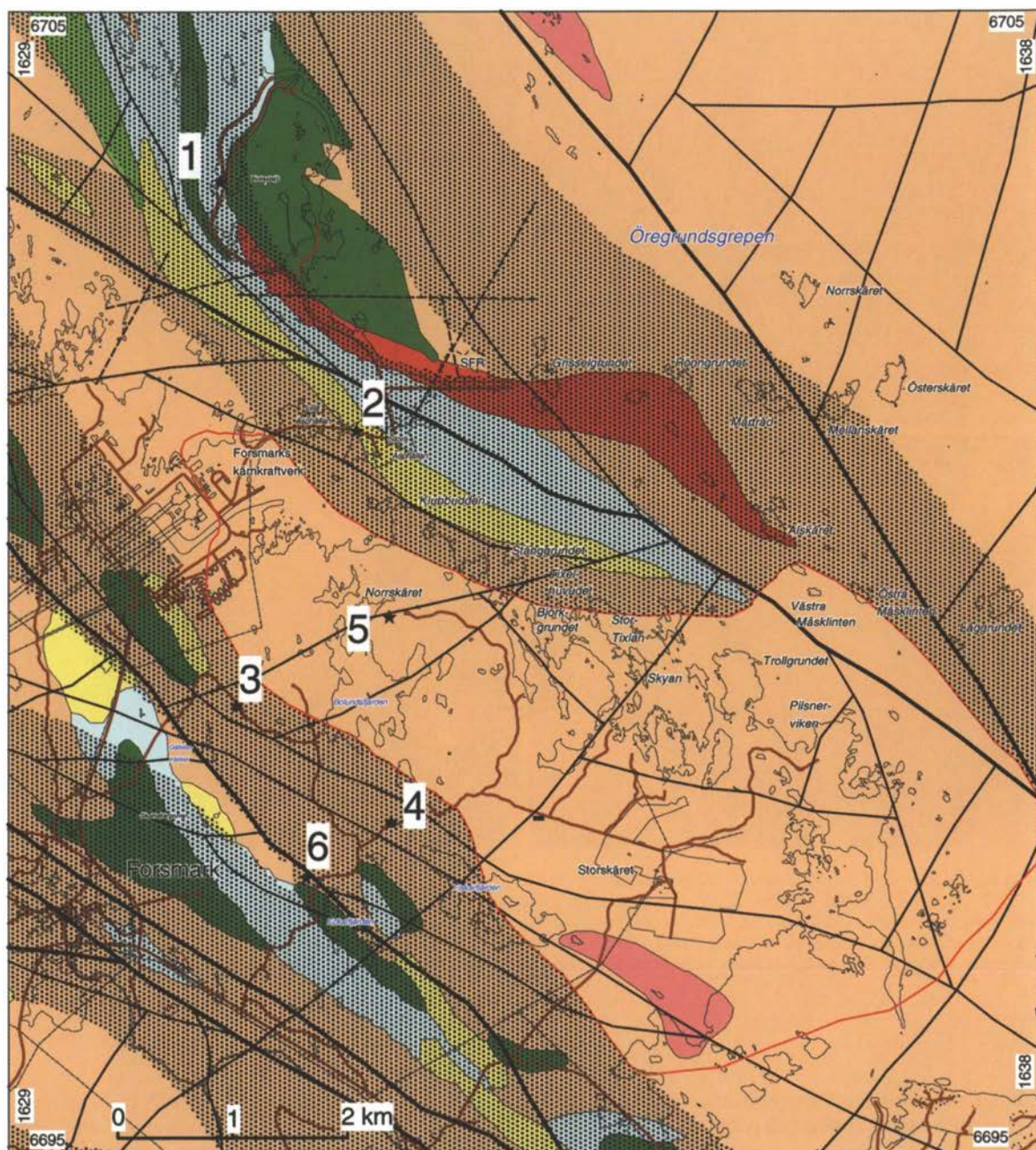
möjligt, och där tiden för grundvattnets strömning från förvar till recipient är lång och recipienten stor, helst ett hav.

Resultat – en kort sammanfattning

Ett antal områden som bedömts direkt olämpliga för vidare undersökning eller som kräver speciell uppmärksamhet vid sådana undersökningar har identifierats i samband med både de översiktliga länsundersökningarna (bild 1) och de något mer detaljerade förstudierna. Detta har huvudsakligen skett utifrån kriterierna; bergartstyp, berggrundens homogenitet, mineralresurspotential, förekomst av deformationszoner som är följ-

bara ca 10 km (länsstudie) respektive ca 5 km (kommunförstudie), förekomst av väldokumenterad sen- eller postglacial förkastningstektonik och frekvens av seismisk aktivitet i historisk tid. En sammanställning av tillgängliga data rörande t.ex. typ av jordarter, jorddjup, landhöjning, grundvattenresurser och vattengenomsläpplighet har också presenterats för varje län och undersökt kommun. Vid mer detaljerade platsundersökningar är det klart att frekvensen och geometrin av sprickzoner, både större och mindre, samt vattengenomsläpplighet längs dessa zoner och i det mellanliggande berget kommer att vara av avgörande betydelse.

Läns- och förstudierna visar att varje län och under-



Exkursionsguide

Bolundsfjärden och omgivning, Forsmarksområdet, Östhammars kommun

Kartan med inlagda, och nedan beskrivna, lokaler avser att vara till hjälp för er som själva vill se ett väldefinierat område som bedömts vara lämpligt för vidare undersökning efter förstudiearbetet. Området ligger i närheten av Bolundsfjärden, i en tektonisk lins sydost om Forsmarks kärnkraftsverk i Östhammars kommun (Uppsala län). Linsen består av en homogen, omkristalliserad granit (bild 2D) som är ca 1890 miljoner år gammal och är ointressant ur malmgeologisk synpunkt. Den ligger mellan två områden i vilka det förekommer många plastiska deformationszoner och regionalt betydelsefulla, spröda förkastningar. Ett fåtal tolkade sprickzoner av mindre längd löper även genom linsen. Ett besök i linsen med omgivning kan ge en värdefull inblick i arbetssättet i samband med undersökningsarbetet.

Kortfattad beskrivning av exkursionslokalerna

Lokal 1. Lilla Sandgrund. Kraftigt förskiffrad meta-sedimentär bergart i kontakt med metagabbro med enstaka plastiska skjuvzoner (bild 2A). Båda bergarterna genomkorsas dessutom av pegmatitgångar.

Lokal 2. Stora Asphällen. Kraftigt deformerad sur metavulkanisk bergart. Bergarten ligger inom ett område med hög koncentration av plastiska deformationszoner. Detta område är beläget strax norr om den tektoniska lins som identifierats i området kring Bolundsfjärden. Den s.k. Singöförkastningen, nordost om lokalen, ligger delvis också inom området med hög koncentration av plastiska deformationszoner.

Lokal 3. Labboskogen. Kraftigt förskiffrad metatonalit med inneslutningar av sur metavulkanisk bergart och amfibolit (bild 2C). Hällen är ett exempel på inhomogen berggrund inom området med hög koncentration av plastiska skjuvzoner sydväst om den tektoniska linsen.

Lokal 4. Vambörsfjärden. Förskiffrad röd metagranit och enstaka pegmatitgångar. Platsen är belägen i gränsområdet mellan den tektoniska linsen och området med hög koncentration av plastiska skjuvzoner sydväst om linsen.

Lokal 5. Norrskäret. Homogen, svagt förskiffrad och stänglig röd metagranit (bild 2D) inom den tektoniska linsen. Jämför lokal 4 (och 3). I metagraniten förekommer enstaka inneslutningar av amfibolit.

Lokal 6. Bromsmossen. Breccierad, kvarts- och epidotläkt, mylonitiserad röd metagranit längs en regional sprickzon. Sprickzonen ligger vid sydvästra begränsningen för området med hög koncentration av plastiska skjuvzoner sydväst om den tektoniska linsen.

sökt kommun, ur geologisk synvinkel, innehåller såväl olämpliga som lämpliga områden för vidare undersökning. Förstudierna i de fem kommunerna där slutrapport eller preliminär slutrapport föreligger, pekar ut olika bergartstyper lämpliga för vidare undersökningar; ca 1900 miljoner år gamla sedimentära ådergnejser, ca 1890–1870 miljoner år gamla omkristalliserade och plastiskt deformerade granitoider och ca 1800 miljoner år gamla yngre graniter opåverkade av plastisk deformation. Eftersom det är omöjligt att på tillgängligt geovetenskapligt underlag rangordna de områden som bedömts lämpliga, måste hänsyn tas till andra faktorer, t.ex. markanvändning och miljöaspekter, tekniska förutsättningar samt samhällsaspekter, inklusive infrastruktur, när platser väljs för vidare undersökningar.

Så var står vi idag rörande svaret på frågan om den säkraste platsen i landet för ett djupförvar av högradioaktivt avfall från våra kärnkraftsverk? SKB har med hjälp av det befintliga geologiska underlaget klarat av att eliminera olämpliga områden utifrån den skala som har använts inom de olika läns- och kommunstudierna. De geologiska förutsättningarna i Sverige är av sådan karaktär att det återstår många områden som är lämpliga för vidare undersökningar. Emellertid är det omöjligt att, utifrån enbart de geologiska kriterier som används i översikts- och förstudier, peka ut en enskild plats som den mest lämpliga av dessa områden. För detta krävs borrhålsundersökningar som med nödvändighet enbart kan göras på ett begränsat antal platser.

Litteratur

- Antal, I., Bergman, T., Gierup, J., Johansson, R., Rudmark, L., Stephens, M.B., Thunholm, B. & Wahlgren, C.-H., 1998: *Översiktsstudie av Kalmar län. Geologiska förutsättningar*. SKB Rapport 98-24, 48 s.
- Antal, I., Bergman, T., Gierup, J., Johansson, R., Persson, C., Stephens, M.B., Thunholm, B. & Åsman, M., 1998: *Översiktsstudie av Södermanlands län. Geologiska förutsättningar*. SKB Rapport 98-28, 49 s.
- Antal, I., Bergman, S., Gierup, J., Johansson, R., Persson, C., Stephens, M.B. & Thunholm, B., 1998: *Översiktsstudie av Uppsala län. Geologiska förutsättningar*. SKB Rapport 98-32, 49 s.
- Bergman, S., Bergman, T., Isaksson, H., Johansson, R. & Stephens, M.B., 1998: *Förstudie Östhammar. Delprojekt jordarter, bergarter och deformationszoner. Kompletterande arbeten 1998*. SKB Rapport 98-57, 42 s.
- Hansen, L., 1989: *Bedrock of the Forsmark area*. Swedish State Power Board, Stockholm. 21 s.
- SKB 1997: *Förstudie Östhammar*. Preliminär slutrapport. 203 s.
- SKB 1997: *Förstudie Nyköping*. Preliminär slutrapport. 186 s.
- SKB 1998: *Förstudie Oskarshamn*. Preliminär slutrapport. 281 s.

Bild 3. Karta över Forsmarksområdet, Östhammars kommun (Uppsala län), med exkursionslokaler. Notera att det är bara lokal 5 som ligger i det område som bedömts vara lämpligt för vidare undersökning.

Michael B. Stephens är 1:e statsgeolog och Torbjörn Bergman är statsgeolog vid Sveriges geologiska undersökning i Uppsala; michael.stephens@sgu.se resp. torbjorn.bergman@sgu.se

Planering av berganläggningar i 3D

SVEN A. TIRÉN, PER ASKLING & STEFAN WÄNSTEDT

Visualisering av data i form av grafiska bilder ökar förståelsen av de förhållanden som data representerar. Data kan vara framtaget genom simuleringar eller bestå av reella mätningar. Visualisering används både för att analysera data och för att förmedla information. Tredimensionella bilder av de geologiska förhållandena vid en planerad berganläggning ger ett tydligt underlag för bedömning och planering av erforderliga insatser.

Att skapa en bild av något, må vara något verkligt eller en tanke, och att därefter förmedla denna till andra är en färdighet som människan lagt ned stormöda på att kunna behärska sedan urminnes tider. Det gäller alla typer av avbildningar; från de lerskärivor med kartor som ristades i Mesopotamien för ca 4000 år sedan, till dagens högupplösande kartor och terrängmodeller i digitalt format, eller från de forntida egyptierna som upptäckte fördelen med att i bildform kunna studera ett stort och komplicerat byggobjekt såsom en pyramid före dess uppförande, till dagens pågående detaljplanering av försvarsanläggningar på stort djup för radioaktivt avfall.

Vanligen beskrivs både en undermarksanläggnings utformning och områdets geologiska förhållanden genom tvådimensionella (2D) bilder; plan- och profilritningar respektive kartor och profiler. Till skillnad från 2D-ritningar ger en tredimensionell (3D) beskrivning av berggrunden och dess svaghetszoner möjlighet att anpassa utformandet av en undermarksanläggning så att byggnaden av anläggningen och dess funktion blir optimala (Figur 1). Den funktionella utformningen beror på vad anläggningen skall användas till och av myndigheter ställda krav på anläggningens byggande och drift. 3D-visualisering innebär att presentationen utförs med hjälp av dator och är något mer än enbart ett presentationsätt. Det är också ett arbetssätt att utföra planering av arbete och utvärdering av erhållna resultat. Nya data (reella mätningar eller simuleringar) kan enkelt läggas till och jämföras med den befintliga modellen.

Kärnkraftsavfallet – olika roller

Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) roll i det svenska kärnavfallshanteringsprogrammet är bland annat att ta fram en säker metod och plats för att slutförvara kärnkraftsavfallet. Statens Kärnkraftinspektion (SKI) har som en av sina uppgifter att granska SKB:s forskning i dessa frågor samt att efter det att SKB inlämnat ansökningar om tillstånd att uppföra och driva en försvarsanläggning bedöma om SKB:s försvarsmetod och val av plats för förvaring av använt kärnbränsle uppfyller myn-

digheternas säkerhets- och strålskydds krav. För att SKI skall kunna utföra egna oberoende granskningar av SKB:s ansökningar bedriver SKI egen forskning. Ett exempel är "SKI SITE-94"-projektet som är en genomgripande säkerhetsanalys. Resultat relevanta för planering av undermarksanläggningar sammanfattas kort nedan.

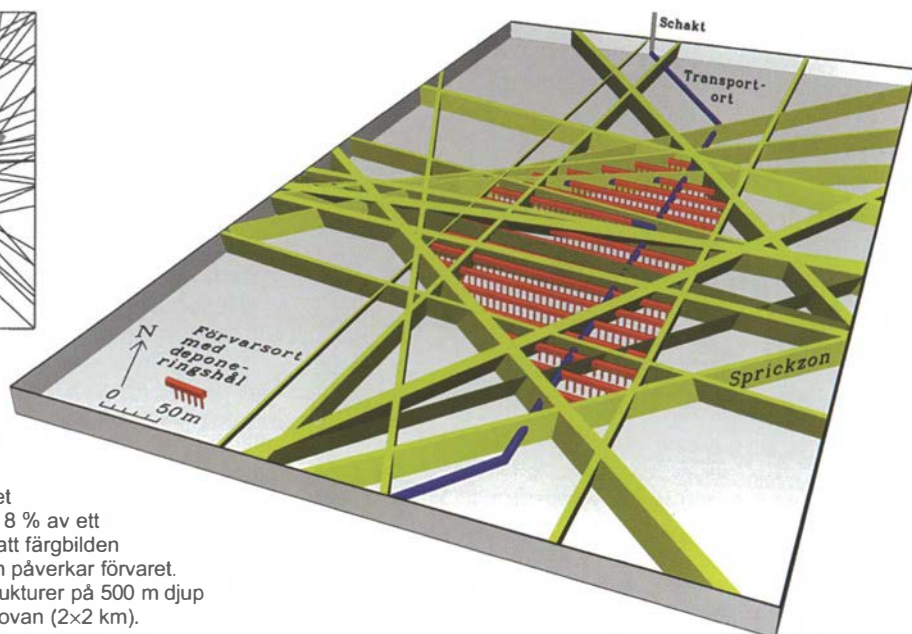
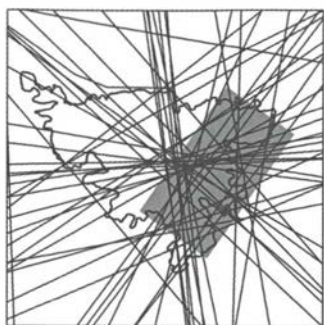
Hur ser undermarken ut – hur/ var bygger man?

Hur de geologiska förhållanden ser ut under markytan känner man inte i detalj och speciellt inte på de stora djup som avses för ett förvar av radioaktivt avfall. Det är av största betydelse vid planering, byggnation och drift av en undermarksanläggning i berg att kunna ange läge och karaktär på bergets svaghetszoner och vattenförande strukturer. Detta för att man skall kunna vara beredd på vad som kommer att påverka undermarksbygget eller, om möjligheten finns, att ändra läget hos anläggningen för att undvika kostnadskrävande förstärkningsarbeten och sena justeringar i anläggningens placering.

För att kunna bedöma bergets kvalitet, hur stor andel av bergmassan som påverkas av störande strukturer, måste det klart framgå vad som menas med en störande struktur, dvs. en struktur som kan påverka anläggningen. Sprickor finns i stort sett överallt. Det är bara en fråga om storleksordning och täthet. Många av sprickorna är vattenförande. Möjligheten att till exempel finna en bergvolym med ett lågt antal störande strukturer eller att "överraskningar" undviks bör kunna vara möjligt. Detta kan ske under förutsättning att karaktäriseringen av störande strukturer i berggrunden baseras på en sammanställning av:

- regionens geologisk-tektoniska utveckling
- sprickzonsmönster, från regional skala till hällsskala.

Denna kunskap blir mer solid om regionen har hög blottningsgrad och litet jorddjup. Markytan är den enda yta som i stor skala kan erbjuda näst intill kontinuerlig information om berggrundens uppbyggnad och beskaffenhet och detta skall man ta vara på. Markytans storskaliga form, dvs. topografin, styr tillsammans med sprickmönstret grundvattenflödet i berggrunden.

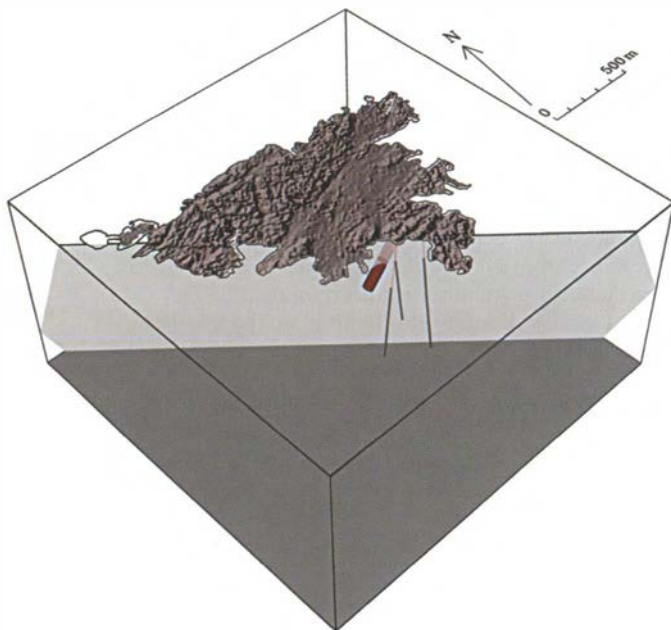


Figur 1. Exempel på utformning av ett hypotetiskt förvar. Detta förvar rymmer 380 behållare med avfall, vilket innebär att dess storlek är ca. 8 % av ett fullskaligt SKB förvar. Notera att färgbilden endast visar de strukturer som påverkar förvaret. Totala antalet modellerade strukturer på 500 m djup under Äspö visas i lilla bilden ovan (2x2 km).

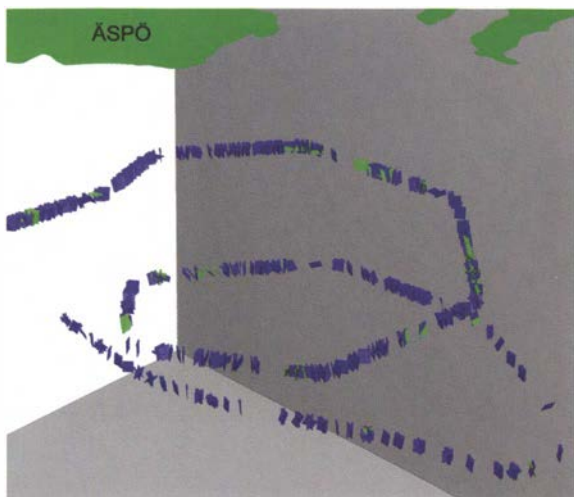
Att styra undersökningar

När ett område valts som potentiellt förvarsområde gäller det att, som nämnts ovan, ta fram detaljerad information om området. Ytundersökningarna omfattar detaljerad strukturgeologisk fjärranalys, detaljerade geofysiska markmätningar och kartering. Är det erhållna strukturmönstret i samklang med det regionala strukturmönstret kan man förvänta sig att finna ett likartat strukturmönster på förvarsdjup. Reflektionsseismiska mätningar kan användas för att kartlägga strukturer i berggrunden ner mot sådana djup. Hur de geologiska förhållandena ser ut mer konkret vet man inte. Information om detta kan erhållas genom borrhålsundersökningar. Strukturors orientering i borrhål kan framför allt kartläggas med hjälp av borrhåls-TV medan orientering av sprickzoner på ett avstånd av upp till flera tiotals meter från borrhålen kartläggs med borrhålsradar.

Ett förvar för radioaktivt avfall av KBS-3 typ upptar en yta på ca 1 km². Det undersökta området kommer dock att vara flerfaldigt större för att ge möjlighet till att anpassa förvarets utformning och placering efter berggrundens strukturmönster. Berggrundens strukturer uppträder inte slumpmässigt utan har ett visst mönster och det gäller att finna och utnyttja detta vid planering av borrhålsprogrammet.



Figur 2. 3D-modellering av en sprickzon. Zonens utgående anges av en VNV-OSO struktur i den magnetiska reliefkartan och läge på kustlinjen. På djupet indikeras strukturen av förhöjd sprickbildning i borrhålen samt orienteringar hos motsvarande radarreflexer. Det tjockare borrhålet anger att hålet har undersökts med riktantenn (ger absolut orientering på reflektorer) medan i de tunnare ritade borrhålen har radarmätning utförts med dipolantenn (ger reflektorers skärningsvinkel till borrhålet).



Figur 3. 3D-visualisering av branta till vertikala vattenförande sprickor i SKB:s Äspölaboratorium. Notera sprickornas inhomogena fördelning, där zoner med förtätning av sprickor förekommer såväl som "zoner" utan sprickor. Äspölaboratoriets djupaste delar ligger på ca 450 m djup och nedfartspirälens diameter är ca 300 m. Äspö konturer syns i övre delen på bilden. Synriktning mot nordväst.

Genom att nyttja 3D-visualisering vid planering av borrhålsprogrammet kan uppställda förslag testas avseende exempelvis följande frågor:

- Kan strukturer gå igenom den undersökta bergvolymen utan att skäras av något av borrhålen eller detekteras genom borrhålsundersökningar (speciellt borrhålsradarmätningar)?
- Kommer uppställt borrhålsprogram att ge en överrepresentation av strukturer i vissa riktningar?
- Var kommer borrhålsprogrammet att ha en optimal täckning?

Att se och att hålla ordning

Vid studier av berggrundens egenskaper inom ett potentiellt förvarsområde insamlas en stor mängd data som skall sammanställas och ligga till grund för en bedömning av bergets möjligheter att hysa ett förvar. 3D-visualisering ger möjlighet till att i en sann 3D-rymd korrelera data. Mängden data är oftast så stor och komplex att enbart en korrelation av punktdata inte ger någon vägledning, utan det föreligger ett behov av orienterade data. Sådana data omfattar allmän kunskap om markytans sprickzonsmönster samt speciellt kunskap om strukturens orienteringar och karaktärer. För att erhålla en reproducerbar modellering måste genomförandet vara stringent och baserat på entydiga grundförutsättningar (Figur 2). Dessa förutsättningar kan inte ändras under modelleringen. Exempel på grundförutsättningar är:

- Begränsningar (vad modellen skall visa; t.ex. typ av strukturer, deras form och storlek).
- Hur data kan korreleras (t.ex. avstånd, avvikelser i läge och orientering).
- Systematiskt genomförande, så att "alla" möjligheter testas.
- Dokumentation, både av modelleringsproceduren och utförda tolkningar.

Det är viktigt vid modellering att ha kontroll på osäkerheter i basdata och i själva modelleringen. Vidare skall anledningen till att en struktur finns med i den slutgiltiga modellen anges.

Uppdatering och kunskapsåterföring

När berganläggningen sedan byggs kommer än mer detaljerade undermarksdata att samlas in, t.ex. genom kartering av tunnlar och ytterligare borrhålsundersökningar. Denna datamängd kommer att ha en mycket stor detaljeringsgrad nära undermarksanläggningen. En detaljeringsgrad som vida överskrider informationen erhållen vid de markbaserade undersökningarna (Figur 3). Detta innebär att det bör vara strukturer påträffade i berganläggningen i detta skede som beskriver strukturmönstret invid förvaret. En uppdatering av den tidigare uppställda modellen sker därför kontinuerligt allt efter som byggnationen fortskrider.

Med avseende på kunskapsåterföring är det intressant att erhålla information om utseendet på olika grupper av sprickzoner, deras relativa andel mot ökande djup och hur stor andel av predikterade strukturer som kan identifieras.

Tack riktas till SKI för vårt deltagande i "SKI SITE-94"-projektet, vilket utgör grunden för ovanstående sammanställning. SKB har godhetsfullt bidragit med underlagsdata från Äspölaboratoriet.

Litteratur

- Juhlin, C. & Palm, H., 1999: 3-D structure below Ävrö island from high-resolution reflection seismic studies, southeastern Sweden. *Geophysics* 64, No 3, 662-667.
- SKI, 1996: SKI SITE-94. *Deep Repository Performance Assessment Project*. SKI Report 96:36, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm. 660 s. (Svensk sammanfattning i SKI Report 97:6.)
- Tirén, S.A., Beckholmen, M., Voss, C. & Askling, P., 1996: *Development of a geological and a structural model of Äspö, southeastern Sweden*. SKI Report 96:16, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm. 198 s. (5 sidor sammanfattning på svenska.)
- Tirén, S.A., Askling, P. & Wänstedt, S., 1999: Geological site characterization for deep nuclear waste disposal in fractured rock based on 3D data visualization. *Engineering Geology* 52, 319-346.

Sven A. Tirén ansvarar för Affärsområdet Bergbyggnad, Geologi & Geofysik, hos konsultföretaget GEOSIGMA AB i Uppsala, där Per Askling utvecklar 3D-visualisering och animering och Stefan Wänstedt är geofysiskt sakkunnig;
 sven.tiren@geosigma.se, per.askling@geosigma.se,
 stefan.wanstedt@geosigma.se

Överjordiskt – underjordiskt

SVEN LAUFELD

Att skriva eller tala om någonting är, tror jag, det bästa sättet att själv försöka förstå det man tänker på och sedan berättar om. För *Homo sapiens* måste väl allt själsligt skapande arbete uttryckas så att andra människor kan förstå det, ha nytta eller rent av nöje av det. Språket begränsar förstås tankarna. Den som medelst tidsmaskin förflyttar sig till 1100-talets Uppsala förstummas av att inte kunna kommunicera med de några hundra personer som då utgjorde stadens samlade befolkning. Uppsalabornas språk var svårbegripligt, och de hade inga begrepp om det mesta som uppfyller vår vardag.

Jag tror att flertalet geologer i Sverige idag paradoxalt nog alltför sällan tänker på djupet i tidens brunn. Därför synes människan som en betydelsefullare faktor än den som verkligheten ger henne. I stadssamhällena ägnar människan sig mycket åt illusionsmakeri. De som främst bör motverka sådan eskapism i dag är geologer och astronomer. Vi är ju faktiskt de enda som skall tänka i och arbeta med långa tidsperspektiv.

Astronomen och författaren Peter Nilson var en av de få svear som ägnade sig åt tidens flykt och andra väsentliga frågor. Genom brev och telefonsamtal lärde jag mycket av honom. Alla borde läsa hans böcker, särskilt *Rymdlyd* och *Den gamla byn*, eftersom de i rikt mått berör de geologiska processernas betydelse och förändringar i tid.

För 821 år sedan, alltså året innan Islands store författare Snorre Sturlasson föddes och elva år efter Oxforduniversitetets tillkomst, inträffade något som vi nog inte borde ha vetat idag. I mid-sommarottan på en äng utanför Cambridge norr om London riktade en handfull odalmän ögonen mot det håll solen småningom skulle dyka upp. Plötsligt började det övre hornet på den inte långt över horisonten synliga månskärans glöda. Inför de häpna karlarnas blickar började månhornet brinna och spruta gnistor rakt ut i rymden. Så vred sig hela månskärans som i en dallring av smärta, och ett mörker lägrade sig över månhornet, men den mörkgrå ridån gled vidare och nådde snabbt det andra hornet. Tystnaden var djup,

månsceken stängd. Den uppgående solens ljus förmådde inte ge den tunna månskärans någon silverglans. Karlarna pratade vitt och brett om saken och inom kort fick en munk i Tilbury invid Themsens öster om London höra talas om händelsen. Gervasius, så hette munken som kunde skriva, intervjuade männen och nedtecknade ögonvittnenas skildring av den där morgonen den 25 juni 1178. Beskrivningen finns i den s.k. Canterburykrönikan som senare har tryckts.

Människor promenerade på månens yta för första gången en sommardag 1969. Jag minns tydligt hur jag i svinottan på hemväg från Geologiska institutionen i Lund storbligade på månen. Jag skrev på min gradualavhandling om Gotlands drygt 400 miljoner år gamla mikrofossil och tänkte på männen som promenerade i månens grus. Var det vettigt att arbeta med ett silurtida mikrokosmos när den förste geologen snart skulle svinga sin hammare på månen?

Efter de sex Apollolandningarna 1969–72 växte våra kunskaper om månens geologi oerhört. Inte bara tog de tolv astronauterna drygt 350 kg av Luna med sig hem, de riggade upp en rad sofistikerade geofysiska instrument, varav en del skickade hem data i årtal därefter. En av seismometrarna avslöjade att månen då och då vibrerar precis som en kyrkklocka när kläppen dänger till bronskroppen, men vibrationen – månskalvet – inträffar bara vart tredje år. Naturvetare brukar sällan läsa historiska krönikor, så det dröjde till 1976 innan fysikern Hartung i *Meteoritics* publicerade sina tankar om fenomenet på månen 1178. Han hade fått ögonen på Canterburykrönikan. Två år senare innehöll *Science* en artikel där Mulholland & Calame gjorde sannolikt att det var asteroidnedslaget den där medeltidsmorgonen som skapade den tjugo kilometer vida månkrater som nu kallas Giordano Bruno och som startade månens treärsskalva. Nedslaget slungade ut det stoft som tillfälligt blockerade ljusreflexerna från månen. I den tyska Erfurtrönikan upptäckte jag nyligen att månen drygt ett år efter nedslaget 1178 var blodröd om nätterna och att solen hade en purpurrod ring, en halo, om dagarna. Geologiska

processer har ofta både överjordiska orsaker och följdverkningar.

Vad är vetenskap och vad är populärvetenskap i en sådan här skildring? Jag tror inte att det finns någon skillnad mellan de två. Spännande och begripliga skildringar av verkligheten brukar kallas populärvetenskap, men som bekant överträffar verkligheten sagan. God vetenskap är alltid spännande och om vetenskap inte kan skildras spännande och begripligt beror det nog oftast på att forskningsproblemet är en detaljfråga som för de flesta är ointressant. De som inte tror på påståendet borde läsa en "populärgeologisk" uppsats, *A Tale of Ten Plutons*, av geokemisten Konrad Krauskopf i Bulletin 79 från Geological Society of America. Det är lätt att skriva populärvetenskap, receptet är att i likhet med Krauskopf ägna sig åt viktiga vetenskapliga frågor. För geologins vidkommande tror jag att tidsfrågor, mikrokosmos och de geologiska processerna är lika viktiga; vad man väljer är bara en lägningsfråga.

Vi geologer vet att asteroidnerslag har orsakat massdöd på jorden åtskilliga gånger under den senaste årmiljarden och bör också veta att all mänsklig civilisation av högst naturliga orsaker när som helst kan försvinna på några sekunder. Asteroidnerslaget på månen den där sommardagen 1178 hade en sprängkraft som motsvarar tio gånger den som finns i nutidens kärnvapenarsenal, men föremålet som då slog ner på månen var nog inte mer än tvåtusen meter stort. Meteoritnedslaget på månen för 821 år sedan får representera det överjordiska, men asteroider slår som bekant även ner på jorden. Liksom människan fascinerar av dinosaurier, så attraheras hon naturligtvis av asteroidnedslag, vare sig de redan har ägt rum, exempelvis vid Steniga Tunguska, eller kommer att drabba oss i framtiden. Stephen Spielberg har insett dramatiken och gjort film av det som förr eller senare inträffar. Det är mycket svårare att göra en trovärdig film om att människans koldioxidutsläpp leder till vår undergång, helt enkelt därför att den vetenskapliga basen är så luftig att inte ens nutida svenska universitetsmeteorologer kan fånga den.

Geologer måste i framtiden mycket oftare slå sig fram till den massmediala scenen och bruka sina kunskaper om naturens normala processer och om tidsfaktorns betydelse i alla ekologiska processer. Om inte vi geologer som är vana vid långa tidsperspektiv och som har till yrke att undersöka jordens utveckling, om inte vi utforskar, talar och skriver om de processer som verkar

på jorden, vem skall då göra det? Vår egen planet har visserligen svalnat så mycket att vi kan bo på dess yta. Men i djupa gruvor, undersökningsborrhål och vulkanutbrott ser vi att jorden har kvar så mycket värme att det vore djupt olyckligt om alltför många geologer ständigt riktar blicken mot himlen. Geologin är ju inte endast överjordisk utan främst underjordisk.

Ett vulkanutbrott är en omflyttning av energi, gas och fasta partiklar från underjorden till atmosfären, en miljöfaktor av långt större betydelse än människans alla luftföroreningar. Biologer har först nyligen börjat förstå att liv inte bara utgår utan frodas i heta källor och desslikes finns långt ner i jordskorpan under högt tryck och temperatur. Geovetare har ju ansvaret för att undersöka och försöka förstå de processer som verkar i vår planets inre. Med tanke på att kemiska reaktioner löper fortare vid högre temperaturer bör fler av oss ägna krafter åt det som sker i och på jordskorpan i samband med magmaintrusioner och lavaextrusioner. Ännu har ingen forskare försökt att utröna de ekologiska effekterna av Toba-vulkanutbrottet på norra Sumatra för 75.000 år sedan, trots att luftmedeltemperaturen på jorden sänktes flera grader i ett årtionde. Människan har bevitnat flera likstora vulkanutbrott, men ingen har ännu fått forskningsmedel för att försöka göra en prognos över när nästa utbrott i denna mastodontklass skall inträffa. Vad vi vet är att 2800 km³ av Sumatras underjord blev överjordisk vid Toba-utbrottet. Utbrott av den här explosionsklassen, VEI:8, är ju mer än tio, kanske hundra gånger starkare än asteroidnedslaget på månen 1178 och de förekommer oftare. Ett VEI:7-utbrott är en tiondedel så starkt som Toba-utbrottet och ett VEI:6-utbrott som Vesuvius 79 och Krakatau 1883 bara en hundradel så energirikt som Toba-utbrottet. När Krakatau blev överjordisk kom 17 km³ fast material och än mera gaser upp ur underjorden. En km³ är detsamma som en miljard m³. Sju miljoner m³ av Öresunds botten förflyttades av människan under byggandet av den fasta förbindelsen mellan Malmö och Köpenhamn. I miljödebatterna saknar många all kunskap om omfattningen av och hastigheten hos naturens normala processer. Vid dagens symposium inför anläggandet av berggrum som 'permanent' och säkert skall innehålla vårt inhemska kärnavfall kommer naturens normala processer troligen att beskrivas rätt ingående. Eftersom många geovetare har varit engagerade i detta viktiga arbete, hoppas jag att några av dem också har genomfört en riskanalys

av naturomvälvningarna under bergrummets livslängd. Risken i USA att under en femtioårsperiod förlora livet i en bilolycka är 1 på 100, i en el-stöt 1 på 5000, i en flygolycka 1 på 20.000 och i ett vulkanutbrott eller i ett meteoritnedslag 1 på mellan 100.000 och 200.000.

Man kan nog med fog påstå att sötvattnet på kort sikt är den visa människans verkliga ödesfråga. Måhända löses den i underjorden med termisk geomikrobiologi. Tjugohundratalet väl-signas förhoppningsvis med ett massbröllop mellan biologer och geologer. Danmarks och Grönlands Geologiska Undersökning har redan insett detta och inlett älskogslekarna. Sveriges Riksdag har ännu inte ens insett betydelsen av kontinentalsockelns geologi. Vare sig i Danmark eller Sverige har man i nuet insett betydelsen av vulkanutbrott, jordbävningar, översvämningar och andra ofta förekommande standardrätter på det jordiska smörgåsbordet. Ibland tycks det som om 'Occams rakkniv' är omvänd i vårt land, som om ju osannolikare, ju sällsyntare, ju mer kortlivad, ju mindre betydelsefull en företeelse är, desto mer satsas på dess utforskande och desto fler attraheras av 'problemet'.

För 305 år sedan utgav Urban Hiärne en skrift vars midgårdormlånga titel börjar med *En kort anledning...*. Ett universalgeni ställer i denna Sveriges första riktiga geologipublikation ett mycket stort antal geovetenskapliga frågor till landshövdingar, biskopar och andra lärda män som kunde tänkas skaffa fram både historiska och muntliga svar på frågorna kring berg och jord i vår del av världen. Hiärne samlade frågorna till 13 olika områden, frågeflockar. Det kom att dröja till 1702 innan Hiärne gav ut svaren på den första frågeflocken och ytterligare fyra år innan svaren på den andra flockens frågor trycktes. Det mest värdefulla i dessa skrifter är nog det som berör de

geologiska processerna och samtidens uppfattning om dem.

Med stor glädje tar jag emot Hiärnepriset och kommer att fortsätta skriva om de geologiska processerna så länge jag kan se och höra – tyvärr kanske också därefter – eftersom jag anser dem vara geologins både hjärta och blodkärl. Jag skriver självfallet för att påverka och förändra andra, inte bara geologkollegor, utan främst min egen son och alla andra unga, tänkande och nyfikna människor.

Det är nog nödvändigt med många och orädda röster. Den "offentliga" geologin i vårt land tycks ha vissa hjärtproblem, lätt åderförkalkning och oroväckande blodbrist. Pengar till mat och vitaminpiller har uteblivit under alltför många år, till fromma för en rad människofixerade, oftast miljöetiketterade och gärna "strategiska" projekt av naturvetenskapligt dubiös men populistisk och lysenkoistisk karaktär. Vi geologer måste således arbeta i motvind, men vi måste fortsätta att slåss för förståelsen av ett längre tidsperspektiv. Vi gör det bäst genom att göra vår vetenskap känd i samhället, i 'värsta' fall i andra länder, men vi bör enligt min bestämda uppfattning inte göra det genom att klistra "klimatforskare" eller andra 'miljöetiketter' på oss. Vårt yrke är viktigt, det är ju bara vi som vet något om jordens utveckling i ett långt tidsperspektiv. Vi får därför aldrig svika vår vetenskap genom att ha den 'moderna' människans brist på tidsförståelse som vår måttstock.

Mitt tack till Geologiska Föreningens styrelse är desto varmare som priset lyfter fram den som mest förtjänar att äras – den svenska geologins fader, Urban Hiärne. Om jag skall vara alldeles uppriktig är min förtjusning över prisets instiftande ännu större än över att jag själv har fått det. Heders och dubbelt tack!

SGAB Analytica
Luleå tekniska universitet
971 87 Luleå
Tel: 0920-724 80
Fax: 0920-724 90
SGAB Analytica
Box 511, 183 25 Täby
Tel: 08-768 02 25
Fax: 08-768 34 23
E-post: sgab@sgab.se
Hemsida: www.sgab.se

SGAB Analytica

för kemisk analys av

- metaller och andra grundämnen
- mineral, damm, fibrer, sporer
- organiska ämnen

i många olika slags prover.



Behöver du
1999-års priskatalog
för industri och miljövård
eller för
arbetsmiljö?

Skicka oss då uppgifter om
företag, person och adress
så sänder vi önskat antal.

Mineralfynd i Sverige 1998

DAN HOLTSTAM

Sedan ett par år tillbaka underhåller Sektionen för mineralogi vid Naturhistoriska riksmuseet en databas över svenska mineralfyndigheter, kallad FYND. En version av denna finns tillgänglig på Internet (www.nrm.se/mi/base.html.se). Ambitionen är att årligen uppdatera FYND. Nedan listas de viktigare/sällsyntare mineral som tillkommit under 1998.

Fet stil markerar för landet troligen nya mineral.

I fyndlistan använda förkortningar

Analysmetoder och institutioner: EMP = elektronmikroskop, EDS = svepelektromikroskop med energidispersivt analysystem, XRD = röntgendiffraktometri, NRM = Naturhistoriska riksmuseet, Sektionen för mineralogi, UU = Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper.

Litteraturreferenser: MM = *Mineralogical Magazine*, CM = *Canadian Mineralogist*, IMA abs = *Abstracts, International Mineralogical Association, 17th General Meeting, Toronto, Canada, 1998*.

Fyndlista

Alleghanyit - Garpenberg Norra, Hedemora, Dalarna, NRM (XRD)
Alluaudit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Amblygonit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Arrojadit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Augelit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Babingtonit - Utö, Haninge, Stockholm, NRM (XRD)
Bementit - Garpenberg Norra, Hedemora, Dalarna, NRM (XRD)

Bertrandit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Beusit - Sidsensjö, Örnsköldsvik, Västernorrland, CM 36, 377
Beusit - Stora Persholmen, Haninge, Stockholm, CM 36, 377
Bly (gediget) - Garpenberg Norra, Hedemora, Dalarna, NRM
Eosphorit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Ferrotapiolit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, UU (XRD/EMP)
Hercynit - Rymmen, Värnamo, Jönköping, MM 62, 743
Hercynit - Bjärnum, Hässleholm, Skåne, GFF 120, 337
Heterosit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Inesit - Garpenberg Norra, Hedemora, Dalarna, NRM (XRD)
Jakobsit - Garpenberg Norra, Hedemora, Dalarna, NRM (EDS)
Korund - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Manganaxinit - Gåsgruvan, Filipstad, Värmland, NRM (XRD/EDS)
Manganaxinit - Utö, Haninge, Stockholm, NRM (EDS)
Mottramit - Malmberget, Gällivare, Norrbotten, NRM (EDS)
Oenit* - Tunaberg, Nyköping, Södermanland, CM 36, 855
Pyroxmangit - Garpenberg Norra, Hedemora, Dalarna, NRM (XRD)
Pyroxmangit - Lustigkullagruvan, Smedjebacken, Dalarna, NRM (XRD)
Rossmanit** - Utö, Haninge, Stockholm, IMA abs, A148
Scorzalit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Stellerit - Malmberget, Gällivare, Norrbotten, NRM (XRD/EDS)
Tefroit - Garpenberg Norra, Hedemora, Dalarna, NRM (XRD)



Vit amblygonitkörtel omgiven av blå vivianit (bildbredd ca 3,5 cm). Från en numera bortsprängd pegmatit vid Arlandas 3:e bana (även kallad Norrskogen). Foto: Erik Jonsson.

Tennantit - Utö, Haninge, Stockholm, NRM (XRD)
Thalénit - Flakaberget, Jokkmokk, Norrbotten, NRM (XRD)
Thomsonit - Almunge, Uppsala, Uppsala, NRM (XRD)
Thorit - Högsbo, Göteborg, Västra Götaland, UU (EMP)
Vivianit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, IMA abs, A150
Väyrynenit - Arlanda (3:e banan), Sigtuna, Stockholm, NRM (XRD)
Wolfeit - Berg, Sollefteå, Västernorrland, CM 36, 377
Wolfeit - Räggen, Bräcke, Jämtland, CM 36, 377
Yttrocraasit-Y - Flakaberget, Jokkmokk, Norrbotten, B. Otter, Haninge (EMP)
Zinkit - Garpenberg Norra, Hedemora, Dalarna, NRM (EDS)
Zwieselit - Norrö, Haninge, Stockholm, CM 36, 377

*Oenit, med formel CoSbAs , är ett nytt mineral för vilket Tunaberg är typlokal.
**Ett nytt mineral i turmalingruppen.

Se även:

Mineralfynd i Sverige 1987–96, *Geologiskt forum* nr 14 (1997).
Mineralfynd i Sverige 1997, *Geologiskt forum* nr 19 (1998).

Gustav Flink 150 år. Svenska mineralogiska sällskapet inbjuder till möte på temat mineralogi och mineralsamlade; tid 991016 kl 10; plats Naturhistoriska riksmuseet, Stockholm. Anmälan till: Per Nysten 018/4712554 alt. Dan Holtstam 08/51954076.

GEOLOGIN I NÄRINGSLIVET

Geologiskt forums serie presentationer av företag inom geo-området.

SGAB Analytica

LUCIE RIAD

Från att ha varit ett laboratorium som huvudsakligen ägnat sig åt bergarts-analyser och geokemi har SGAB Analytica under senare år snabbt utvecklats till ett specialiserat laboratorium för grundämnesanalyser i många slags material. Den förbättrade tekniken öppnar vägar för många nya tillämpningar.

U tvecklingen inom kemisk analysteknik har gjort det möjligt att mäta allt lägre halter. Att kunna mäta på t.ex. pikogramnivå (dvs. biljondelar av ett gram, 10^{-12}) kan tyckas vara en angelägenhet enbart för analytiska kemister. Men med hjälp av de nyaste analysteknikerna har man i själva verket kunnat angripa många frågeställningar inom andra fält. Naturens egna halter av många grundämnen är ytterst låga. Kan man mäta naturliga halter kan man också avslöja onaturliga halter. En stor del av såväl miljöarbete som medicinsk forskning rör avvikelser från naturliga tillstånd.

Plasmatekniken

SGAB Analytica satsar främst på plasmatekniker där man ser en utvecklingspotential mot nya tillämpningar. Tekniken ger goda möjligheter att mäta svåra prover (matriser). Ett exempel är havsvatten. Saltet orsakar interferenser (störningar), vilket gör det omöjligt att bestämma många spårmetaller. Direktanalys är inte möjlig ens med en av de mest moderna analysteknikerna, induktivt kopplad plasma med quadrupol-instrument (ICP-QMS). Alltför höga salthalter medför också att delar av mätinstrumentet kan få oönskade beläggningar och sättas igen.

Med de nyare s.k. sektorinstrumenten (ICP-SMS, se faktaruta nedan) har man lyckats eliminera många av interferenserna och även sänka detektionsgränsen för metallerna. Man kan nu mäta metallhalter direkt i utspätt saltvatten och slipper det mesta av den tidsödande och kostnadskrävande provberedning som tidigare

krävdes för denna provtyp. I och med att hanteringen förenklas försvinner också en del felkällor i analysen.

Mätning av plutonium i miljöprover

Plutonium förekommer i mycket låga halter i naturen. Den största källan är de atmosfäriska utsläppen från kärnvapensprängningarna i mitten av 50-talet. Man räknar med att mellan 3000 och 5000 kg plutonium släpptes ut då. Plutonium-isotoper kan ge information om plutoniumkällan eftersom isotopkvoterna varierar med källan (Tabell 1). De utnyttjas också som geokemiska markörer vid studier av marina processer i både vatten och sediment.

Forskaren Dr Ilia Rodushkin är anställd vid SGAB Analytica och arbetar med utveckling av plasmametoder. Tillsammans med forskare från Lunds universitet har han visat att mätningar av plutoniumisotoper i jord och sediment, efter koncentrerings av proverna, kan utföras med dubbelfokuserande sektorinstrument (ICP-SMS)¹. Det är ett tilltalande alternativ till tekniker som alfaspektrometri och termisk jonisering

Tabell 1. Plutoniumisotopkvoter för olika källor.

Källa	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$
Reaktorbränsle	0,06–0,65
Förbrukat reaktorbränsle (BRW- reaktor)	0,4–0,8
Vapenplutonium	0,05
Global medelhalt för atmosfäriskt plutonium från kärnvapensprängningar	0,18

(TIMS). Alfaspktrometri kan inte användas för plutoniumkvoten $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ eftersom de båda alfapartiklarnas energier överlappar varandra i spektrat. En nackdel med TIMS är att analysen kräver omfattande preparering av provet.

ICP-SMS är ett lämpligt instrument för plutoniummätningar eftersom man kan mäta mycket låga halter samtidigt som man får ut isotopkvoten ur samma prov. Metoden är dessutom snabb.

Metallhaltiga humusämnen

Humusämnen är naturligt förekommande makromolekyler som bildas vid nedbrytning av växt- och djurvävnad. De kan bilda både lösliga och olösliga komplex med s.k. flervärda kationer. Metaller i mark och vatten förekommer som mer eller mindre starkt bundna till humusämnen, vilket bl.a. avgör hur tillgängliga de är för växter och djur. Järn och kvicksilver tenderar att vara hårt bundna till humusämnen, aluminium, bly och koppar mindre hårt. Kadmium, kobolt och zink binds mycket svagt.

Petra Appelblad, som är doktorand vid avdelningen för oorganisk kemi vid Luleå tekniska universitet, har tillsammans med kollegor jämfört två system av kopplade jonbytare och utvärderat resultatet för vattenprover från olika

provtagningsplatser². I studien bestämdes humusbundna metaller samt fria metalljoner av tolv element med SGAB Analyticas plasma-instrument, ICP-QMS och ICP-SMS, och med atomfluorescens för kvicksilver. Totalhalter av elementen bestämdes så att effektiviteten för de två jonbytarsystemen kunde kontrolleras.

Undersökningen visade bl.a. att signifikanta andelar av de flesta elementen återfanns komplexbundna till humusämnen. Vid undersökning av humusbundna metaller rekommenderas användning av multielementtekniker såsom ICP-MS.

Laser

Doktoranden *Mikael Axelsson* är analytisk kemist vid institutionen för tillämpad geologi vid Luleå tekniska universitet. Han arbetar med utveckling av nya analysmetoder för bestämning av den kemiska sammansättningen i olika mineral. Den apparatur han har till sitt förfogande är universitetets laserinstrument kopplat till ett av SGAB Analyticas plasmainstrument. Lasern används för analys direkt på fasta material. Tekniken innebär att upparbetning i form av upplösning och/eller magnetseparation minimeras.

Ett prov kan bestå av ett tunnslip eller någon annan slät yta. Då laserstrålen träffar provets yta frigörs en aerosol av partikulärt material, som med hjälp av plasmagasen förs direkt in i plasmat. Laserstrålens diameter kan göras mindre än 10 μm (Bild 1). Det innebär att det bör finnas goda möjligheter att analysera så små strukturer som zoner i individuella mineralkorn.

Trots att den instrumentella utvecklingen pågått ett 10-tal år har användningen inte kommit lika långt. Det finns många geologiska tillämpningar att finna till lasertekniken (och Mikael Axelsson efterlyser relevanta geologiska prover).

Enligt internationella artiklar och publikationer är spridningen i mätresultat från lasermätningar fortfarande stor (10–20%). Ett stort problem med den relativt nya tekniken är bristen på standard- och referensmaterial. En annan svårighet ligger i provernas natur. Metoden bygger på homogena prover, men de flesta prover är mer eller mindre inhomogena. Till och med en liten inneslutning i ett mineral innehåller inhomogeniteter.

För att lösa kvantifieringsproblemet kan man provbereda på olika sätt. Om provet föreligger som ett pulver kan man tillsätta en internstandard till såväl provet som den externa standarden. Mikael Axelsson hoppas att man i framtiden ska kunna utnyttja naturliga interna

FAKTARUTA: ICP-SMS

Masspektrometri med induktivt kopplad plasma, ICP-MS, är en teknik med vilken man kan mäta flera grundämnen samtidigt. Provet hettas upp till så höga temperaturer (över 6000°) att kemiska föreningar slås sönder till atomer som i sin tur laddas till joner. Det man slutligen mäter är just halterna av joner. Här uppstår dock ofta vissa svårigheter. Det visar sig nämligen att vissa kemiska föreningar (polyatomiska joner), som kan störa mätningarna, nybildas då jonerna svalnat något.

Sektormasspektrometri, ICP-SMS, är ett sätt att skilja ut de olika jonerna från varandra så att halterna kan mätas. Som i all masspektrometri används en grundläggande egenskap hos grundämnen, nämligen att de har olika atomvikter. SMS-tekniken består i att man utnyttjar skillnader i massa då laddade partiklar passerar ett magnetfält. Beroende på massa avböjs partiklarna olika mycket då de rör sig genom magnetfältet. Störningarna elimineras i och med att man med den nya tekniken kan skilja ut många av de störande jonerna från de metaller man vill mäta.

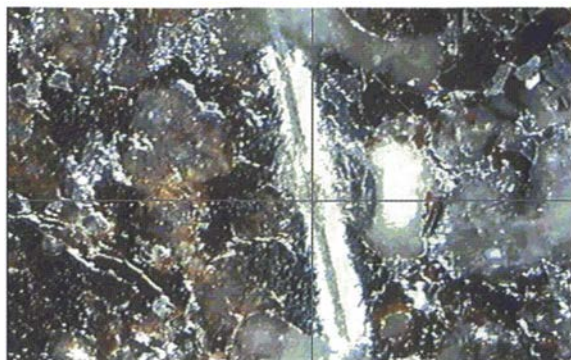


Bild 1. Spår av laserstråle i zinkblände. Spårets bredd är ca 30 µm. Foto: Mikael Axelsson.

standarder såsom isotopkvoter eller kvoter mellan ingående grundämnen i mineral och andra fasta material.

Mineralogiska analyser

SGAB Analytica erbjuder, med hjälp av sin nya mineralogiska expert *Mary Ekström*, mineralidentifiering och beskrivning av tunnslip och polerprov, liksom mineralidentifiering i pulver och enskilda kristaller. Hon har ett förflutet inom såväl Sveriges geologiska undersökning (SGU)

som "gamla" SGAB (Sveriges Geologiska AB), där hon utfört många mineralanalyser bl.a. av malmprover i samband med prospektering. Innan dess arbetade hon vid Mining Metallurgic Institute i Bolivia, vid Chiles Geologiska Undersökning, samt vid Geologiska institutionen vid universitetet i La Paz i Bolivia. Mary Ekström har lång erfarenhet av faskontrastmikroskopi, röntgendiffraktion (XRD) och svepelektronmikroskopi (SEM). SGAB Analytica erbjuder därmed (som tidigare Analytica) också bestämning av respirabel kvarts med röntgendiffraktion (XRD) och av fibrer, sporer m.m. med hjälp av elektronmikroskopi (SEM).

Litteraturhänvisningar

- ¹Rodushkin, I., Lindahl, P., Holm, E. & Roos, P., 1999: Determination of plutonium concentrations and isotope ratios in environmental samples with a double-focusing sector field ICP-MS. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research* 423, 472–479.
- ²Appelblad, P.K., Baxter, D.C. & Thunberg, J.O., 1999: Determination of metal-humic complexes, free metal ions and total concentrations in natural waters. *Journal of Environmental Monitoring* 1, 211–217.

Lucie Riad är geolog och informationsansvarig vid SGAB Analytica; lucie.riad@sgab.se

Fakta om SGAB Analytica

Vid SGAB Analytica utförs kemiska analyser. Företaget är specialiserat på plasmametoder för analys av grundämnen. Mineralogiska analyser erbjuds också, liksom analys av organiska ämnen, där ett framstående holländskt laboratorium anlitas.

SGAB Analytica har ett kemiskt laboratorium i Luleå, där man huvudsakligen analyserar grundämnen, och ett i Täby med inriktning på mineralogiska analyser av luft- och materialprover. I Täby finns även marknadsavdelningen där bl.a. handeln med organiska analyser sker. Ett försäljningskontor har nyligen öppnats i Köpenhamn.

SGAB Analytica har 39 anställda. Förra året var omsättningen 41,5 miljoner kronor. VD är Christer Pontér. Övriga nyckelpersoner är Lars-Gunnar Omberg, oorganisk kemi i Luleå, samt Claes Mellqvist, mineralogi och petrologi, Monika Franzén, organisk kemi, Thomas Ruth, forskning och kvalitet, och Lucie Riad, information, i Täby.

Adresser: SGAB Analytica, Luleå tekniska universitet, 971 87 Luleå, tel. 0920-72480, fax 0920-72490; SGAB Analytica, Box 511, 183 25 Täby, tel. 08-7680225, fax 08-7683423.
E-post: info@sgab.se, hemsida: www.sgab.se

Historik: De flesta geologer kände till dåvarande Sveriges Geologiska AB (SGAB), som bildades 1982 då Sveriges geologiska undersökning (SGU) delades i en myndighetsdel och en bolagsdel. När statens prospekteringsaktiviteter minskade, minskade också lönsamheten och SGAB såldes. Laboratedelen, som fick namnet Svensk Grundämnesanalys AB (SGAB), återskapades som ett privatägt bolag i september 1993.

Analytica bildades 1961 av bland andra dåvarande laboratoriechefen vid SGU. Företagets fokus låg på arbetsmiljö- och mineralanalyser. Uppdragsgivarna fanns inom näringsliv, offentlig och privat hälsovård, samt olika institutioner.

SGAB Analytica bildades vid årsskiftet 1997–98 genom en sammanslagning av Analytica AB i Täby och Svensk Grundämnesanalys AB (SGAB) i Luleå.

Topputmärkelser till Stig M. Bergström

SVEN LAUFELD

Förvisso har många dugande svenska geologer gett sin mannakraft i USA, men måhända är det bara tre som har fyllt upp den geologiska överrocken utan att behöva axelvaddar: Waldemar Lindgren, Frans Erik Wickman och Stig Magnus Bergström. Hur frestande det än är att apostrofera alla dessa tre banbrytare är det Stig M. Bergström som här skall uppmärksammas. Han är mikrofossilexpert och stratigraf, västgöte och exlundensare, och sedan 1968 professor i geologi vid Ohio State University i Columbus. Det är en av världens stora geologiinstitutioner med fler geologiprofessorer än det finns vid alla svenska universitet sammantaget.



Stig M. Bergström (t.h.), geologiprofessor vid Ohio State University och Curator vid Orton Museum, Columbus, tar här emot Raymond C. Mooremedaljen från SEPM:s ordförande Lee F. Krystinik vid Society for Sedimentary Geology-mötet 11–14 april 1999 i San Antonio, Texas. Exlundensaren Stig Bergström fick medaljen "For Excellence in Paleontology".

Svenska geologkollegor gratulerar hjärtligt till den fina och välförtjänta utmärkelsen. Vi tackar också Birgitta för hennes generösa uppbackning av Stigs arbete.

Under försommarens högsommarvärme i San Antonio, strax innan Yuccan blommade i södra Texas, blev Stig Bergström *Raymond C. Moore Medalist*, och fick därmed ett av de två mest prestigefyllda geologiprisen i USA. Det utdelas vid årsmötet av Society for Sedimentary Geology, SEPM. I hedersomnämmandet från prisutdelningen står bl.a. "Som uppskattning för många viktiga bidrag till de ordoviciska conodonternas och graptoliternas taxonomi, evolution, biostratigrafi och biogeografi ... som uppskattning för hans omfattande och värdefulla bidrag till ordovicisk stratigrafi samt långvariga insatser inom den Internationella kommissionen för ordovicisk stratigrafi".

Ännu kan man inte summera Stig Bergströms insatser inom geologin, eftersom de pågår med fullaste kraft. Varje

år publicerar han fler arbeten än vad Sveriges Geologiska Undersökning – med ett par hundra anställda – gör. En snabbgenomgång av hans publikationslista visar fyra böcker om totalt nästan tusen sidor, drygt etthundrafemtio artiklar/upsatser om ca 2300 sidor jämte mer än 170 föredragsabstracts på 200 sidor, således tillsammans 3500 trycksidor, de flesta av hög internationell klass. Det kanske mest imponerande med publikationslistan är antalet medförfattare och den geografiska spridningen av dem, eftersom detta belyser Stig Bergströms eminenta samarbets- och organisationsförmåga. Han är alls ingen skrivbordsgeolog utan en verklig världsresenär, en som alltid har älskat att ta på sig fältkängorna och sätta hammaren i bältet.

Trots att Stig Bergström vid det här laget måste ha gjort minst femtio sverigeresor och är synnerligen insatt i det svenska universitetssystemet har han bara en gång på 30 år utnyttjats som sakkunnig av det svenska Forskningsrådet. Geologins statliga ämnesföreträdare i Sverige har också utnyttjat Stig Bergström som föreläsare/sakkunnig vid så få tillfällen att utomstående måste fråga sig vad det kan bero på. Han har nämligen med stor kraft, välvilja och generositet arrangerat att en rad svenska paleontologer och biostratigrafer genom åren haft förmånen och nöjet att få arbeta bl.a. som post-doctoral fellows vid Ohio State University. Därmed har han även hedrat sin Columbuskollega och mångåriga medförfattare Walter C. Sweet, som en gång var pionjär för geoförbindelserna mellan Sverige och Columbus genom att år 1968 erbjuda Stig Bergström en professur "over there".

I detta sammanhang skall nämnas att Stig Bergström i år fick ta emot ytterligare en internationell utmärkelse. Vid Karls universitet i Prag i Tjeckien – University Karlovy Praha – fick han nämligen den 25 juni *The Golden Medal of the Faculty of Science* "in recognition of His Outstanding Contribution to the Ordovician Stratigraphy and establishment of the GSSP for the Darriwilian Stage". Karlsuniversitetet grundades 1348 av Böhmens kung Karl IV (1316–1378), kanske mera känd som tysk-romersk kejsare, och var faktiskt det första tyska universitetet, även om Italien 1348 hade styvt dussinet universitet medan Sverige fick sitt första år 1477 i Uppsala, och det kom att dröja till 1666 innan Stig Bergströms *alma mater* i Lund såg dagens ljus som ett viktigt led i att utplåna det danska språket och kulturen i Skåneland. En och annan minns måhända att Lunds universitet redan 1987 kallade Stig Bergström till *Doctor h(onoris) c(ausa)*, och att Kungliga Fysiografiska Sällskapet i Lund, Akademi för naturvetenskap, medicin och teknik, för fyra år sedan hedrade honom med Assar Haddings pris. Stig M. Bergström är glädjande nog trots allt profet också i Sverige. Den som har hört honom skratta förstår varför.

Docent Sven Laufeld, Konsulterande geolog, Natural Hazards Group / Vulcanus Tankesmedja, Brekille 1611, 266 91 Munka Ljungby, 0431-43 40 69.



Stadgar för Geologiska Föreningens Jubileumsfond

§1. Geologiska Föreningens Jubileumsfond instiftades enl. beslut av styrelsen den 22 augusti 1996. Fondens ändamål är att med priser belöna och stimulera, dels betydande vetenskaplig forskning, dels betydande populärvetenskaplig verksamhet.

§2. Fonden är en självständig ekonomisk enhet som förvaltas av GF:s styrelse och revideras årligen av auktoriserad revisionsbyrå.

§3. *Klass I.* Vart fjärde år utdelas ett av följande priser:

a. Geologiska Föreningens Törnebohmpris (Geological Society's Törnebohm Award) inom områdena mineralogi, prekambrisk geologi, tektonik och geodynamik, med början år 1996.

b. Geologiska Föreningens Linnarssonpris (Geological Society's Linnarsson Award) inom områdena historisk geologi, paleontologi, biostratigrafi och maringeologi, med början år 2000.

c. Geologiska Föreningens De Geerpris (Geological Society's De Geer Award) inom områdena kvartärgeologi, kvartär biostratigrafi, litostratigrafi och maringeologi, med början år 2004.

d. Geologiska Föreningens Tilaspris (Geological Society's Tilas Award) inom till geologin hörande områden som faller utanför de i *a-c* angivna, med början år 2008.

Klass IIa. Med början år 2000 kan utdelas vart tredje år ettdera av följande priser:

Geologiska Föreningens Erdmannpris (Geological Society's Erdmann Award) inom områdena mineralogi och petrologi.

Geologiska Föreningens Lindgrenpris (Geological Society's Lindgren Award) inom områdena malmgeologi och ekonomisk geologi.

Geologiska Föreningens pris (Geological Society's Award) inom områdena geokemi och isotopgeologi.

Geologiska Föreningens Rambergpris (Geological Society's Ramberg Award) inom områdena strukturgeologi samt närliggande områden.

Klass IIb. Med början år 2001 kan utdelas vart tredje år ettdera av följande priser:

Geologiska Föreningens Angelinpris (Geological Society's Angelin Award) inom området allmän och systematisk paleontologi.

Geologiska Föreningens Nathorstpris (Geological Society's Nathorst Award) inom områdena paleozoologi, paleobotanik och mikropaleontologi.

Geologiska Föreningens Petterssonpris (Geological Society's Pettersson Award) inom områdena maringeologi och stratigrafi.

Geologiska Föreningens pris (Geological Society's Award) inom områdena **prekvartär sedimentologi och sedimentpetrologi**.

Klass IIc. Med början år 2002 kan utdelas vart tredje år ettdera av följande priser:

Geologiska Föreningens Torellpris (Geological Society's Torell Award) inom områdena glacialgeologi, polarforskning samt närliggande områden.

Geologiska Föreningens von Postpris (Geological Society's von Post Award) inom områdena kvartär biostratigrafi och kvartär paleoekologi.

Geologiska Föreningens Munthepris (Geological Society's Munthe Award) inom området kvartär utvecklingshistoria.

Geologiska Föreningens Hjulströmpris (Geological Society's Hjulström Award) inom området sedimentologi.

Klass III. Med början år 1999 utdelas vart femte år **Geologiska Föreningens Hiärnepris** (Geological Society's Hiärne Award) för betydande populärvetenskaplig verksamhet inom det geovetenskapliga området.

§4. Priser i klass I utdelas efter förslag från medlemmarna. Priser i klasserna II och III utdelas efter förslag från styrelsens ledamöter. Kungörelse om att förslag till mottagare av ett pris önskas ska göras i *Geologiskt forum*, på institutioners anslagstavor samt på årsmötet året före priset utdelas. Förslag om mottagare skall ha inkommit senast den sista fredagen i oktober. Förslag skall vara motiverade och innehålla kort biografi och bibliografi.

§5. Förslag behandlas av Geologiska Föreningens styrelse. Om så erfordras kan styrelsen utse en *ad hoc*-kommitté att bistå styrelsen i val av pristagare i klass I. Protokoll förs ej vid dessa överläggningar, som är konfidentiella.

§6. Beslut om prismottagare fattas av Geologiska Föreningens styrelse senast i februari. Minst fem ledamöter måste bifalla föreslagen kandidat. Prismotivering skall formuleras. Ett pris kan delas mellan flera mottagare.

§7. Pristagare meddelas muntligt och skriftligt snarast efter beslut, varefter pressmeddelande utsänds. Priserna utdelas vid föreningens årsmöte.

§8. Temat för Geologiska Föreningens årsmöte bör, om möjligt, anknyta till det geologiska fält som priset/priserna avser. Pristagare skall inbjudas att hålla en prispöreläsning i samband med prisets mottagande.

§9. Medel tillföres fonden genom av styrelsen fattat beslut om överföring från föreningens kassabehållning eller andra tillgångar. Medel kan också tillföras fonden genom donationer. Medel som tillföres fonden kan ej användas för andra än för fonden stadgade ändamål.

§10. Av fondens årliga avkastning får som mest 75% disponeras för priser. Minst 25% skall återfonderas. Disponibla medel som ej utnyttjats under verksamhetsåret skall återfonderas. Avkastningen kan ej användas för andra än för fonden stadgade ändamål.

§11. Dessa stadgar antogs av styrelsen den 28 maj 1999. Ändringar av stadgarna kan ske om minst fem av styrelsens sju ordinarie ledamöter bifaller förslaget på två, efter varandra följande ordinarie sammanträden.



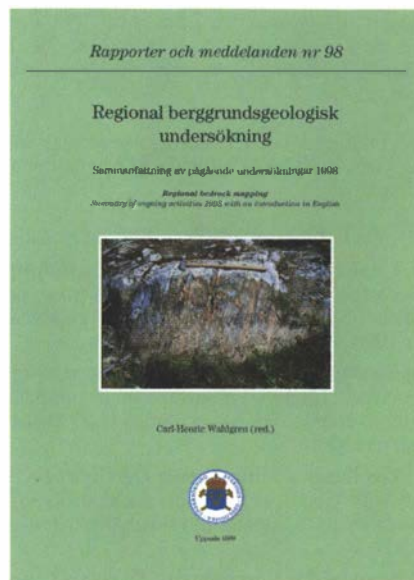
Aktuella publikationer

Regional berggrundsgeologisk undersökning

Rapporter och meddelanden nr 98

Detta är den senaste rapportvolymen med presentationer av pågående undersökningar och fältarbeten inom SGUs berggrundsgeologiska undersökningsverksamhet. Rapporterna är av relativt allmän, kortfattad och preliminär karaktär. Syftet är att informera om karteringsläget och preliminära resultat efter hand som undersökningarna fortskrider, så att geoinformationen snabbare kan komma till nytta. Årets rapporter behandlar i första hand resultaten av 1998 års fältarbeten.

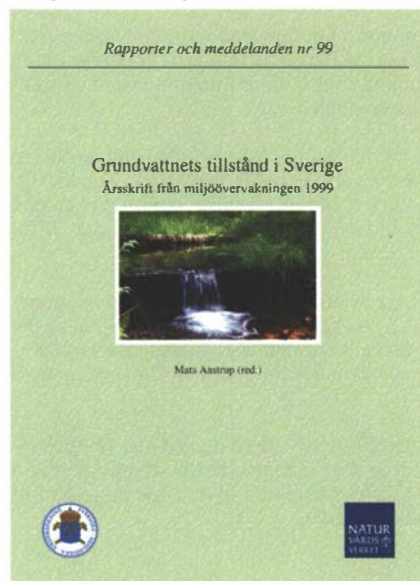
Rapportvolymen är annonserad på SGUs hemsida på internet (<http://www.sgu.se/aktuellt>) där fem utvalda rapporter som exemplifierar innehållet i volymen kan hämtas som PDF-filer. Hela rapportvolymen finns till försäljning genom SGUs kundtjänst.



Grundvattnets tillstånd i Sverige

Rapporter och meddelanden nr 99

En årsskrift från miljöövervakningen av grundvatten har publicerats på uppdrag av Naturvårdsverkets Miljöövervakningsenhet. Detta är den första och, troligen, sista årsskrift som separat behandlar grundvatten. Från och med millennieskiftet skall miljöövervakningsprogrammen för ytvatten och grundvatten slås ihop till ett program — Sötvattenprogrammet. En gemensam årsskrift kommer då att informera om verksamhet och resultat som berör såväl sjöar och vattendrag som grundvatten.



Publikationen belyser grundvattnets förekomst och "naturliga" beskaffenhet och ger exempel på mänskliga aktiviteter och ingrepp som påverkar dess kvantitet och kvalitet. Det rör sig om sådana aktiviteter och hot, vars effekter på grundvatten inte registreras inom ramen för dagens nationella miljöövervakning. I årsskriften ges också information om nya Bedömningsgrunder för miljökvalitet — grundvatten. Bedömningsgrunderna är verktyg för att kunna tolka och värdera insamlade data om grundvatten på ett enhetligt sätt för att beskriva tillstånd, avvikelse från vad som är normalt och följa upp förändringar över tiden. De skall möjliggöra bedömningar av miljökvaliteten i län och kommuner som underlag för miljöplanering och utgöra grund för att sätta regionala och lokala miljömål.

Ur innehållet:

- Bedömning av tillstånd i Sverige
- Tunnelbygget genom Hallandsås
- Vägsaltning och dess effekter på grundvattnet
- Lokala föroreningar i Stockholms grundvatten

KEYBOARD GLOVE®

Smidigt permanent tangentbordsskydd



Formgjuten Keyboard Glove

- reducerar stilleståndstid i datorn
- ökar personalens effektivitet
- skyddar ömtålig elektronik och mekanik mot:
 - vätskespill (kaffe, olja, kemikalier etc.)
 - stenflisor, jord, smulor, damm och cigarettaska
 - barr, gem och häftklammer

Datorernas tangentbord är utformade så, att allt tänkbart kan falla ner mellan tangenterna. Med Keyboard Glove tangentbordsskydd eliminerar Du helt dessa olägenheter.

Keyboard Glove monteras på ett par minuter och skall sitta kvar när Du använder tangentbordet. Under t.ex. arbete i fält kan Du varje dag snabbt och lätt tvätta bordet rent till nästa dag. Du behöver inte ta av tangentbordsskyddet, eftersom det är fäst med dubbelhäftande tape längs ytterkanterna på bordet. Skyddets tunna utförande gör att det inte är något problem att fälla ihop datorn efter avslutat arbete. På vanliga PC-bord går skyddet runt front, baksida och kortsidor och fästs på undersidan av bordet.

Keyboard Glove är en produkt av allra **högsta kvalitet**, tillverkat i polyuretan. **Återvinningsbar** och **utan mjukgörare**, gör produkten **miljövänlig**. Tack vare **den höga kvaliteten**, torde tangentbordsskyddet förbli i utmärkt skick – tills Du byter dator.

Vill Du veta mer om Keyboard Glove?

Skriv, ring eller faxa till oss, så sänder vi mer info.
Tel. 08-740 16 64, Fax. 08-740 20 20
e-mail adress: imolin@algonet.se

Vistaimporten HB
Box 3019
143 03 VÅRBY

En prenumeration

på *Geologiskt forum* 1999 (nr 21–24) kostar 100 kr.

Gör så här: betala 100 kr till **Swedish Science Press** på postgiro 489 78 50-6 eller bankgiro 914-4601.

Märk inbetalningskortet Geologiskt forum 1999.

Ny medlem i Geologiska Föreningen

betalar endast 300 kr/år de första två åren (ordinarie avgift är 400 kr/år). Studerande betalar 200 kr/år (under max. 4 år).

Medlem erhåller årligen fyra nummer av *Geologiskt forum* och fyra häften av föreningens engelskspråkiga vetenskapliga tidskrift *GFF*.

Gör så här: betala medlemsavgiften 300 kr alt. 200 kr till **Geologiska Föreningen** på postgiro 21 08-9.

Märk inbetalningskortet Ny medlem, avgift för 1999 alt. Studerandemedlem, avgift för 1999.

Skriv tydligt namn och adress på inbetalningskortet, tack!

Geologiska Föreningens Linnarssonpris

GF:s styrelse inbjuder medlemmarna att inkomma med förslag till mottagare av det nyinstitfödda Geologiska Föreningens Linnarssonpris, *för betydande vetenskaplig forskning inom ett eller flera av områdena historisk geologi, paleontologi, biostratigrafi och maringeologi*. Priset kan delas mellan flera mottagare.

Förslag, som skall vara motiverade och innehålla kort biografi och bibliografi, skall ha inkommit **senast den 29 oktober 1999** under adressen: Geologiska Föreningen, c/o SGU, Box 670, 751 28 Uppsala.

Geologiska Föreningens samtid och framtid

är temat för ett preliminärt föreningsmöte under senare delen av november vid Stockholms universitet i Frescati.

Geologiska Föreningen behöver diskutera och eventuellt ompröva sin roll i geologsamhället och i samhället i stort. Huvudfrågan är naturligtvis: behövs en nationell geologisk förening i framtiden?

Om svaret är ja, skulle vi behöva diskutera och

dra upp strategier för framtiden rörande bl.a.:

- Vilka uppgifter skall Geologiska Föreningen ha?
- Hur finansierar vi verksamheten?
- Skall styrelsens numerär och kompetens ändras?
- Hur skall föreningens publicerings- och informationsverksamhet finansieras och skötas?

Styrelsen avser att arrangera detta möte under förutsättning att det finns ett solitt intresse hos medlemmarna. Vi vill därför ha en anmälan från medlemmar som avser att delta i ett sådant möte. Sänd den till gff@sgu.se, eller Geologiska Föreningen, c/o SGU, Box 670, 751 28 Uppsala senast den 15 oktober.

GEOLOPPIS

Säljes: *Norbergstraktens berggrund och malmfyndigheter*. Av N.H. Magnusson, utan årtal. Särtr. ur *Norberg genom 600 år*, s. 11–56. 1 utv.karta. 34 fig. 100 kr + porto. Tel. 0431-434069.

Säljes: *Über die Geologie der Zentralschwedischen Hochgebirge*. Av G. Frödin, 1922. Särtr. ur *Bull. Geol. Inst. Uppsala* 18, s. 57–197. Karta i färg. 100 kr + porto. Tel. 0431-434069.

Säljes: *Hjalmar Sjögren. Life and Work*. Av A.G. Högbom & J. Samzelius 1922. 27 s. Porträtt. Särtr. ur *Bull. Geol. Inst. Uppsala* 18. 50 kr + porto. Tel. 0431-434069.

Säljes: *Geochemical studies of uranium, molybdenum and vanadium in a Swedish alum shale*. Av G. Armands 1972. 148 s. 44 fig. *Stockh. Contr. Geol.* 27:1. 150 kr + porto. Tel. 0431-434069.

Säljes: *Petrological studies in the neighbourhood of Stavsjö at Kolmården. Granites and associated basic rocks of the Stavsjö area*. Av B. Asklund 1925. 122 s. 33 fig. Färgkarta 1:50.000 i ficka. *SGU C 325*. 250 kr + porto. Tel. 0431-434069.

Säljes: *Hauptzüge der Tektonik und Stratigraphie der mittleren Kaledoniden in Schweden*. Av B. Asklund 1938. 99 s. 51 fig. 2 tabeller. 1 plansch(karta). *SGU C 417*. 150 kr + porto. Tel. 0431-434069.

Säljes: *De bouw van het Siluur van Gotland* av E.C.N. van Hoepen, 1910. Akademisk avhandling, Delft. Häftat band i gott skick. 161 sid., 8 planscher med 13 fotografier och talrika streckteckningar och tabeller, separat karta i färg (skala 1:300.000). 1200 kr + porto. Tel. 018-421282.

Under rubriken "Geoloppis" intas annonser från privatpersoner. Det kan gälla böcker, utrustning, samlingar, etc. Annonseringen är gratis. Maximalt 5 rader à 50 ned- och mellanslag per annons. Beskriv objektet, ange pris, avsluta med telefonnummer, faxnummer eller e-postadress.

Sänd Din annons till tidningen senast 15/11 (adress, fax och e-post, se sid. 2). Nästa nummer kommer i december!

GEOLOGISKA FÖRENINGENS STYRELSE 1999 (<http://www.sgu.se/gf/gfstyr.htm>)

Ingemar Cato, ordf., Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-179188, epost icato@sgu.se

Per Sandgren, sekr., Kvartärgeologiska avd., Tornavägen 13, 223 63 Lund, tel. 046-2227889, epost per.sandgren@geol.lu.se

Rodney L. Stevens, skattm., Geologiska inst., Geovetarcentrum, Box 460, 405 30 Göteborg, tel. 031-7732807, epost stevens@gvc.gu.se

Björn Sundquist, red., Geologiska Föreningens redaktion, c/o SGU, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-179276, epost gff@sgu.se

Lars Holmer, ledam., Inst. för geovetenskap - paleontologi, Norbyvägen 22, 752 36 Uppsala, tel. 018-4712761, epost lars.holmer@pal.uu.se

Karin Högdahl, ledam., Lab. för isotopgeologi, Naturhistoriska riksmuseet, Box 50007, 104 05 Stockholm, tel. 08-51954004, epost karin.hogdahl@nrm.se

Claes Mellqvist, ledam., Inst. för tillämpad geologi, Luleå tekniska universitet, Porsön, 971 87 Luleå, tel. 0920-72274, epost clme@sb.luth.se