

Välkommen till geologins fyrdimensionella underbara värld!

Vårt universum är en fyrdimensionell värld. Vi har de tre rumsdimensionerna och så har vi tiden. Vi reser fritt i de tre rumsdimensionerna men är bara viljelösa passagerare på tidens ständiga resa framåt. Naturlagarna som styr vårt universum är konstanta, både i rummet och tiden. Blandar jag vätska och syrgas och får det att reagera blir det vatten. Detta oavsett om jag befinner mig på jorden eller ute i världsrymden, samma sak om jag gör det idag som om jag gjort det för fyra miljarder år sedan. Geologin, *läran om jorden*, lyder även den under naturlagarna och kan därför modelleras och testas experimentellt. De geologiska händelserna sker dock mot bakgrund av en ständigt föränderlig jord. För två miljarder år sedan var värmeutflödet från jordens inre betydligt högre än idag, vilket naturligtvis avspeglades i de geologiska skeendena från den tiden även om vi inte vet exakt hur. Kanske rörde sig kontinentplattorna snabbare eller kanske var det fler och intensivare vulkanutbrott. En än större förändring skedde då livet utvecklade fotosyntesen för mer än 2 500 miljoner år sedan. Fotosyntesen resulterade i att jorden började få en syreatmosfär, vilket i sin tur ledde till att de flesta bakterier, som då var de enda levande varelserna, förvisades till en undanskymd miljö fortfarande fattig på syre. Andra utvecklades till att kunna tillgodogöra sig syret och den energivinst detta medgav. Något som i sin tur var en av de viktigaste förutsättningarna för att mer komplicerade livsformer skulle kunna uppstå. Utan samverkan mellan de biologiska och geologiska lagarna hade aldrig livet kunnat utvecklas på det sätt vi ser idag. Syrets uppträdande i atmosfären och havet påverkade inte bara livet utan även jordens kemiska kretslopp. Grundämnen som järn och uran betar sig helt annorlunda på jordytan idag än vad de gjorde för tre miljarder år sedan.

Varje geologisk händelse är unik, både i rummet och tiden, och de lämnar unika spår efter sig. Spåren efter de äldre geologiska händelserna är ofta fragmentariska och svårtolkade. Den ständigt utvecklande jorden gör att ju längre bak i tiden vi går desto mer skiljer sig dåtidens jord från nutidens. Kontinenternas position på jordytan ger annorlunda klimat, atmosfärens och havens sammansättning ger annorlunda livsmiljöer och sammansättningen på själva jordskorpan och jordens inre skapar annorlunda bergarter. Ju längre bakåt i tiden vi går desto konstigare företeelser kommer vi att stöta på. Geologin är också återkopplande; varje händelse påverkar jorden själv och knuffar utvecklingen i en viss riktning. Geologin är på detta sätt den enda riktigt fyrdimensionella vetenskapen. Förflyttar vi oss i någon av de fyra dimensionerna kommer geologin att se annorlunda ut. Unika spår av händelser som som bara kan ha skett just där, och just då.

I detta häfte, som vi har dedikerat till tiden, har vi samlat några av de intressanta händelser och spännande forskningsprojekt som format bilden av vårt land. Allt från spåren efter en tid då kanske hela jorden var nedisad, när karbonatitlavor strömmade ur märkliga vulkaner, när ett världshav nästan delade Skandinavien i två delar, då trilobiterna kryllade i haven, eller när dinosaurierna var jordens härskare. Stora katastrofer blandade med spåren efter små gradvisa, långsamma förändringar. Kort sagt; ögonblicksbilder från en värld i ständig förvandling.

Det är geovetenskapens uppgift att tolka och förklara hur vår jord har utvecklats med tiden. Kunskaperna kan sedan användas för att förstå hur vår nuvarande värld fungerar, allt ifrån hur klimatet ändras, hur olika organismer samverkar och utvecklas till hur våra naturtillgångar bäst tas tillvara. Men geovetenskapen är inte enbart ett verktyg för att beskriva vår omvärld, utan inte minst är geologin en fantastiskt intressant och kul vetenskap. Välkommen att själv uppleva den mångfacetterade geovetenskapen under *Geologins dag 2004*!

Joakim Mansfeld



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

SGU

Sveriges geologiska undersökning

Ansvarig utgivare, redigering och layout: Joakim Mansfeld

Foto och illustrationer (om inte annat anges): Joakim Mansfeld

Redaktionens adress:

GF:s redaktion, institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel 08-674 77 27, fax 08-16 44 24; gff@geo.su.se; www.geologiskaforeningen.nu

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

Distribution, prenumerationsärenden, adressändring och köp av tidigare nummer:

Swedish Science Press, Box 118, 751 04 Uppsala, postgiro 489 78 50-6, bankgiro 914-4601, tel 018-36 55 66, fax 018-36 52 77; info@ssp.nu.

ISSN 1104-4721

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

Redaktionsråd:

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

Tidskriften ingår i det ordinarie medlemskapet i Geologiska Föreningen.

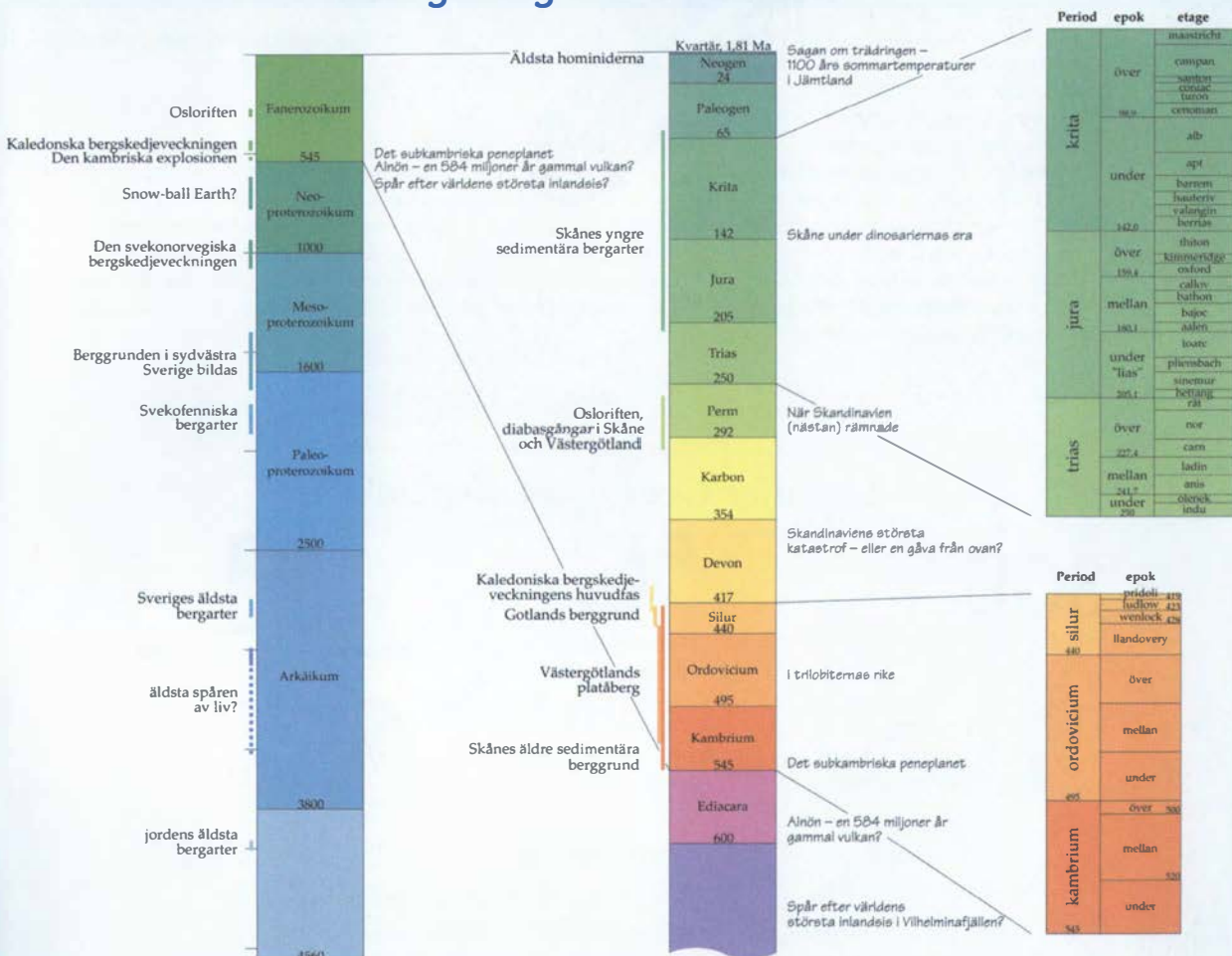
Annonser mottages gärna. Kontakta redaktören för uppgifter om digitala format, storlekar och priser.

Ordinarie lösnummerpris: 50 kr. Upplaga på detta nummer: 4 000 ex.

Innehåll

| | | |
|--|--|----|
| Ledare | | 2 |
| Geologins dag 2004 | Erik Huss | 4 |
| Geotiser | | 5 |
| Ett ögonblick i urbergets barndom – en geofantasi | Joakim Mansfeld | 6 |
| spår av världens största inlandsis i vilhelminafjällen? | Reinhard O. Greiling & Risto Kumpulainen | 8 |
| Alnön – en 584 miljoner år gammal vulkan? | Jaana Hode Vuorinen | 12 |
| Sveriges största plana yta | Karna Lidmar-Bergström | 18 |
| I trilobiternas rike | Niklas Axheimer | 22 |
| Skandinaviens största katastrof – eller en gåva från ovan? | Ilka von Dalwigk | 32 |
| När Skandinavien (nästan) rämnade | Trine-Lise Knudsen | 40 |
| Skåne under dinosauriernas era | Johan Lindgren | 48 |
| Sagan om trädringen – en berättelse om 1100 års sommarklimat | Hans Linderholm | 54 |
| ...och sen då? | Erik Huss | 62 |

Den geologiska tidskalan



Källor: International Commission on Stratigraphy (ICS); www.micropress.org/stratigraphy

Sveriges geologi från urtid till nutid., M. Lindström, J. Lundqvist & T. Lundqvist, 2000. Studentlitteratur. 491 s.

Tidens dag 2004

För en tid sedan läste jag en recension av en filosofisk bok som avhandlade universums natur i ett kvantmekaniskt och metafysiskt perspektiv. I recensionen lyftes en fras ur boken fram som har satt sig i mitt minne:

"Tiden är ingenting. Universum är istället en oändlig samling möjliga ögonblick."

Även om nu tiden inte finns är det många som gör anspråk på den. Historiker studerar och arbetar med människans tid, främst dåtid, och för att bättre förstå vår samtid och kunna planera för vår framtid bör vi rimligtvis ha ett hum om vår historia.

Geologer studerar och arbetar med jordens tid, och är med andra ord naturens historiker. Men naturen har funnits så oändligt mycket längre än människan. Ge naturen tillräckligt mycket tid så kan i princip vad som helst hända. Istället för böcker, pergamentrullar och hållristningar får geologer läsa naturens arkiv för att förstå vad som kan ha hänt – och händer – på jorden. Tolkningen kan innebära att man sitter vid en masspektrometer och daterar zirkonkristaller från Sveriges berggrund eller reser till öknen för att studera isräfflor. Ja, det har faktiskt funnits en inlandsis i Sahara, fast för nästan 500 miljoner år sedan.



Årets temanummer av *Geologiskt forum* handlar om tiden. Inte hela jordens levnadstid, men väl hållplatser i tiden, där ni läsare kan bevittna korta ögonblick i jordens historia och förundras över hur det stod till förr i tiden, eller hur forskarna tror att det låg till.

Geologins dag kunde lika gärna ha hetat Tidens dag. Geologi och tid är samma sak, naturens tid. Årets *Geologins dag*, som är den fjärde sedan starten 2001 har flera nyheter för er besökare:

- *Geologins dag* har blivit två dagar, fredagen 17/9 är ägnad helt åt skolklasser och lördagen 18/9 är allmänhet, politiker, massmedier och andra välkomna.
- Samhällsnyttan med geologi ges mer utrymme.
- Flera geologiska världsarv lyfts fram.

När ni läser detta har *Geologins dag* förmodligen redan varit, men ha förtröstan, nästa år är det 5-årsjubileum och det globala FN-initiativet *Planet Earth* sjösätts, förhoppningsvis i samverkan med *Geologins dag*. Fram till dess kan ni prenumerera på *Geologiskt forum* och läsa om förunderliga Geonyheter på www.geologinsdag.nu.

Ha en härlig tid på jorden!

Erik Huss, *Geologins dag* 2004; erik.huss@nrm.se

Vi stödjer Geologins dag 2004

SGU

Sveriges Geologiska Undersökning



Naturhistoriska
riksmuseet



Svensk Kärnbränslehantering AB



KUNGL.
VETENSKAPSAKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



KUNGL. INGENJÖRVETENSKAPSAKADEMIEN
Royal Swedish Academy of Engineering Sciences

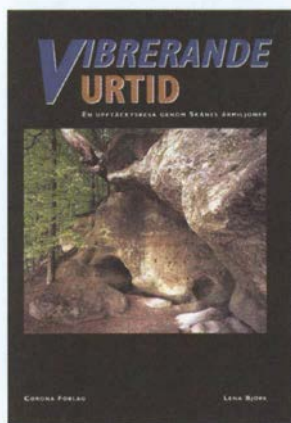
Övriga sponsorer

| | |
|-------------------------------|--|
| LKAB | Geocentrum /Uppsala universitet |
| Georange | Geovetarcentrum /Göteborgs universitet |
| GEOSIGMA | Geologiska institutionen /Lunds universitet |
| Naturvetareförbundet | Geologiavdelningarna /Luleå tekniska universitet |
| Sveriges Bergmaterialindustri | Geovetenskapliga sektionen /Stockholms universitet |

Geonotiser

Ny bok guidar genom Skånes urtid

En bra bok gör livet rikare och i sommar har mitt liv berikats av Lena Björks bok "*Vibrerande urtid - En upptäcktsresa genom Skånes årmiljoner*". Med annorlunda grepp väcker denna bok urtiden till liv igen. Bland Skånes böljande raps och sädesfält med sina spridda vitkalkade kyrkor finns också mullrande vulkaner, hungriga dinosaurier i tropiska träskskogar, karga, mäktiga ökenområden, och varma hav med märkliga organismer utdöda sedan länge sedan. Det gäller bara att se allt detta.



Boken är ett föredöme: Genom att väva samman fakta, prosaavsnitt och genomtänkta illustrationer görs urtiden tillgänglig för den nyfikne. Vi färdas i en tidsmaskin till olika platser och miljöer i jordens historia. Greppet är enkelt, men det som ger boken dess främsta styrka är att varje stopp med tidsmaskinen är knutet till en beskrivning av en geologisk lokal där man faktiskt kan ta, känna och lukta på spåren av urtiden. Den hisnande känsla när man förstår med hela hjärnan att urtiden faktiskt funnits på riktigt infinner sig ju som starkast när man möter de konkreta lämningarna i form av fossil eller sediment. Med detaljerade lokalbeskrivningar och vägkartor visar Björk vägen till dessa lämningar. Fakta är presenterade på ett klart och lättillgängligt vis. Texten fungerar för såväl nybörjaren som den mer initierade. Boken inspirerar till egna utflykter till spännande platser och situationer i jordens historia. Bilden av det skånska landskapet får ytterligare en dimension.

Även om prosaavsnitten i boken ibland kan bli väl "prosaiska", förlåter man författaren för det djärva och nydanande i upplägget. Helheten fungerar, illustrationerna är utmärkt och boken är som ett litet konstverk. Jag längtar redan att ge mig ut i det skånska landskapet med boken i hand och låta tidsmaskinen sätta mig av på havsbotten där de allra äldsta trilobiterna bökar i sedimenten eller i ett tropiskt hav under kritaeriden när gigantiska mosasaurier simmar i havsvikar i norra Skåne. Detta är precis den bok om Skånes geologi som borde ha skrivits!

Birger Schmitz

Ny geologisk period

Ediacara är namnet på den första geologiska period som ratificerats av International Union of Geological Sciences (IUGS), och därmed den första nya perioden som skapats på 120 år. Perioden utgör den sista delen av eran Neoproterozoikum (1000–545 miljoner år). Ediacara börjar vid ca 600 miljoner år sedan då de stora inlandsisarna släppte sitt grepp om jorden, och avslutas vid kambriumsbörjan för 545 miljoner år sedan. Namnet är från den kända lokalen i Australien där fossil av gåtfulla flercelliga djur "Ediacara-biotan" med okänt släktskap först hittades. Ediacara anses nu vara den period i jordens historia då flercelliga djur blev vanliga.

Källa: Geo

Istiden startade med jätteöversvämningar

Norska forskare har lagt fram en ny teori hur klimatet ändrades i början av den senaste istiden. De har funnit spår av enorma glaciärruppdämda sjöar i norra Ryssland och Sibirien. En inlandsis över Barents hav och Karasjön hindrade de stora floderna Ob, Jenisej och Petjora att rinna ut i ishavet och på några få tiotals år bildades de enorma insjöarna. Insjöarna var kalla och bidrog till att sänka sommartemperaturen med upp till 10°C över stora områden. Temperatursänkningen i sin tur resulterade i att glaciärerna började växa till. Ett liknande händelseförlopp skedde troligen samtidigt i Nordamerika, och sammantaget resulterade detta troligen i kraftiga globala klimatförändringar. Sjöarna i norra Ryssland var när de var som störst ungefär dubbelt så stora som Kaspiska havet. En temperaturökning för 80 000–90 000 år sedan gjorde att de blockerande glaciärerna smälte, vilket till slut fick fördämningarna att brista och på några månader tömdes de enorma sjöarna ut i ishavet. Detta enorma utsläpp av smältvatten och isberg måste också ha påverkat klimatet, men ännu har inga spår efter denna händelse hittats.

Källa: Nature och Geo

Kontrovers bryter ut över "steril" Antarktisk sjö

Ryska och franska forskare planerar att borra ned i den hittills utforskade Lake Vostok – och riskerar att förorena ett exotiskt ekosystem. 4 000 meter ned i den Antarktiska isen ligger en s.k. subglacial sjö, som sannolikt har varit isolerad från omvärlden i mellan 15 och 30 miljoner år. Om det visar sig finnas livsformer som överlevt extremt ogästvänliga förhållanden, kan dessa resultat användas i sökandet efter liv utanför jorden. Problemet är att det befintliga borrhålet inte är fritt från bakterier och om man når sjön under isen kan utrustningen smitta ned vattnet och omöjliggöra vidare forskning på eventuella livsformer.

Källa: New Scientist

Ett ögonblick i urbergets barndom – en geofantasi

Urberg kallar vi de ofta gnejsiga eller granitiska bergarterna som utgör underlaget till våra yngre sedimentära bergarter. Det skandinaviska urberget har en mycket lång och komplicerad historia bakom sig, från 3 500 miljoner till 900 miljoner år sedan. Inte ens hela detta nummer av Geologiskt forum skulle räcka till för att ge en rättvis bild av hur vår subkontinent bildades. Istället får en ögonblicksbild från omkring 1 840 miljoner år sedan illustrera några av de processer som format urberget.

AV JOAKIM MANSFELD

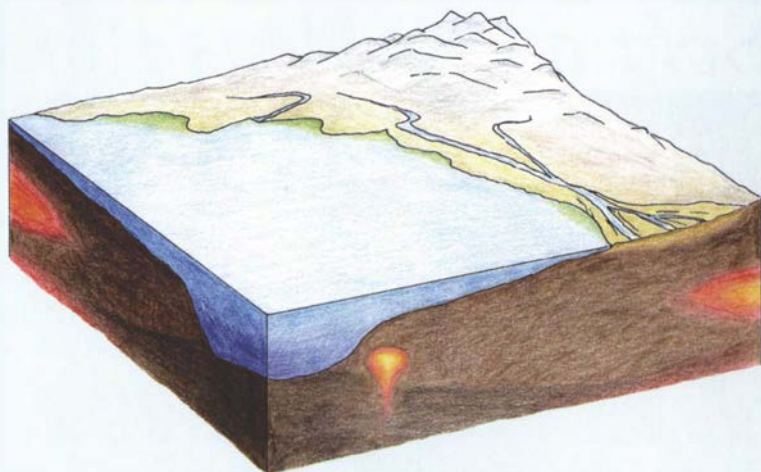
Stora delar av Sveriges och Finlands berggrund bildades genom vulkanism och intrusion av granitiska magmor för mellan 1 900 och 1 860 miljoner år sedan. Vi vet inte hur det såg ut då, men troligen fanns där små låglänta vulkanöar och mikrokontinenter skilda åt av havsbassänger. Vulkanismen hade avtagit, men jordskorpan plattor rörde sig så att hela området långsamt, men obevekligt, pressades ihop. Troligen kom trycket från nuvarande söder eller sydväst och de små landområdena pressades samman med varandra och med den gamla kontinenten i nordost. Vi fick en bergskedjeveckning, den *svekokarelska orogensen*. I sydväst,

nuvarande Södertörn och Bergslagen, ledde detta till att delar av jordskorpan trycktes ned och utsattes därmed för höga temperaturer och tryck vilket i sin tur ledde till att bergarterna omvandlades. Omvandlingen säger oss att trycket inte var exceptionellt högt jämfört med en modern bergskedja, vilket säger oss att de inte pressats djupt ned i jordskorpan. Detta antyder i sin tur att den bergskedja som bildades inte var särskilt hög. I Bergslagen slocknade vulkanerna troligen före 1870 miljoner år sedan, och den kraftigaste metamorfosen skedde troligen någon gång för mellan 1850 och 1840 miljoner år sedan. Därefter börjar vår historia.



Till vänster, en kanske omkring 1 835 miljoner år gammal gabbro från Kleva i centrala Småland. Det är bergarter som denna som utgör den första pulsen av magmatism då den småländska subduktionszonen kom igång. Bergarten till höger är en kuddlava från Fröderyd i centrala Småland. Kuddlavan bildades då de första magmorna bröt igenom jordskorpan och rann ut som lava på havsbotten.

Sydöstra Sverige för 1 840 miljoner år sedan. I bakgrunden tornar de högsta topparna i den svekofenniska bergskedjan upp sig. Till höger bildas mäktiga flod- och delta-avlagringar av borteroderat material från bergen. I jordskorpan till vänster och till höger svalnar de stora magmorna som kommer att utgöra Askersunds- och Loftahammargraniterna. I förgrunden stiger basiska magmor upp mot ytan, de första magmorna som så småningom kommer att bilda bergarterna i Oskarshamn-Jönköpingbältet.



Sydöstra Sverige år 1 840 000 000 f.Kr.

Det är lugnt nu. De enda märkbara geologiska processerna är den långsamma vittringen och erosionen av den svekofenniska bergskedjan. Jordbävningarna som följde då bergskedjan bildades har upphört sedan länge, och det är många miljoner år sedan den senaste vulkanen i det som kommer att bli södra Sverige slocknade. Vi står på den svekofenniska kontinentens sydkant. Mot norr tornar den södra svekofenniska bergskedjan upp sig, mot nordost ser vi de avlägsna blådisiga högsta topparna, kanske upp mot 3000 meter höga när de var som högst. Bergen eroderas snabbt ned i den livsfientliga miljön som råder ovanför havsytan. Det enda liv som finns är de brungröna algansamlingarna i lugna och grunda vikar. Breda floder transporterar sand och lera från bergen och avlagrar det i stora flod- och deltaformationer där hav möter land. Så småningom kommer detta att bli de mäktiga sandstens-avlagringarna vi finner i Västerviksområdet och södra Bergslagen. Ser vi söderut har vi bara ett oändligt hav. Den svekofenniska jordskorpan fortsätter visserligen en bra bit söderut under havsytan, men 200 kilometer bort eller mer tar djuphavet vid. Just nu är havet lugnt, inga våldsamma geologiska processer kan skönjas under ytan, endast ett lätt regn av lerpartiklar som lägger sig på botten.

Men lugnet är bara en några miljoner år kort paus. Många kilometer under oss stelnar långsamt de kalifältspatsrika magmor som sedan blir de karakteristiska graniterna i t.ex. Askersund, Finspång och Loftahammar. De utgör slutet på den svekokarelska orogenesen, men de förebådar även de händelser som skall fortsätta att kontrollera den geologiska utvecklingen i några tiotals miljoner år till. Även om inga yttre tecken antyder något just nu är manteln några

hundratals kilometer under oss aktiv. Hett mantelmateri stiger upp mot jordytan och påverkar plattornas rörelser. De plattrörelser som skapade den svekokarelska bergskedjan har inte upphört, men de uppvällande heta massorna från jorden nedre mantel har stört deras rörelser. Den gamla zonen, ungefär där vi står, har klippts av de heta uppstigande mantelmaterialet. Istället har en ny zon börjat bildas bortom horisonten mot sydväst. Hade det funnits seismografer hade vi kunnat registrera en ökning av antalet djupa jordbävningar i området, men i övrigt märks ingenting. Trots detta har de första kiselfattiga bergarterna i det som så småningom får namnet Oskarshamn-Jönköpingbältet börjat bildas. Det är svavelrika gabbror och ultrabasiska bergarter som bildats genom att en del av den övre manteln delvis smälts upp – den absolut första pulsen vid bildningen av en ny subduktionszon. Om några få miljoner år kommer liknande magmor att tränga igenom havsbotten och aktiva vulkaner kommer återigen att sprida aska och gaser över södra Sverige. Än en gång kommer jordens inre krafter att skapa och omvandla jordskorpan och berggrundscykeln påbörjar ännu ett varv. Ett nytt kapitel i den ständigt pågående berättelsen om vår komplicerade och vackra berggrund ska just börja.

Joakim Mansfeld är fil dr. och Geologiska Föreningens redaktör, samt forskare inom berggrundsgeologi vid institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet; joakim.mansfeld@geo.su.se.

Spår av världens största inlandsis i vilhelminafjällen?



Stora delar av Sverige erfor denna sommar det tråkigaste semestervädret under decennier, vilket lätt leder till samtalsämnen om extra fina somrar, smällkalla vintrar eller att man julen 1923, den enda gången i mannaminne, kunde ta ångbåten till julottan.

Ovan: issjöavlagring – isflottade block och stenar i ett lagrat sediment.

Nedan: Tillit med dåligt sorterad grundmassa och block av bl.a. granit

AV REINHARD O. GREILING & RISTO KUMPULAINEN

Meteorologer och klimatforskare sammanställer väder- och klimatobservationer till en historieber beskrivning om bl. a. klimatvariationer. I det korta perspektivet utgår man från väderobservationer. I det något längre perspektivet hämtas informationen från isproppar från Grönland eller Antarktis eller från sedimentproppar från världshaven. I ett ännu längre perspektiv, alltså bort åt 3000 årmiljoner bakåt i tiden, blir vi beroende av den klimatinformation, som finns bevarad i lagrade bergarter. Klimatet ger nämligen sin prägel i de sedimentbergarter som bildas vid ett visst tidsintervall i en viss klimatzon. Öknar ger sandstensenheter som ackumulerats genom vindtransport. En istid ger morän- och andra karaktäristiska avsättningar.

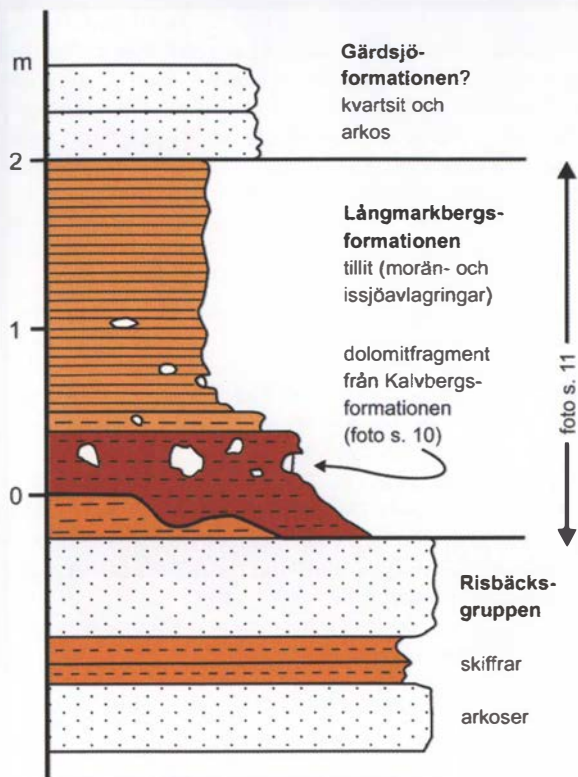
Det är värt att lägga märke till att moränbildningen förutsätter isens slipande verkan på sitt underlag, berggrunden, samt transport och avsättning av det losslipade materialet. Vi kan ganska lätt låta oss övertygas om att en havsis svårigen skrapar ihop tillräcklig mängd material för moränbildning. Riktigt gamla nedisningar spåras genom förekomst och utbredning av moränavlagringar (tilliter). Den tillgängliga geologiska informationen antyder att nedisningar drabbar jorden med viss periodicitet, möjligen lite oregelbundet eller kanske rent av rapsodiskt. Kan denna oregelbundenhet

bero på hur en viss kontinent genom kontinental-förskjutning råkar passera en av jordens två poler?

En av de nedisningar, som jorden bevitnat, har faktiskt lämnat sina spår, tilliter, i den skandinaviska berggrunden. Denna nedisning skedde i yngre proterozoikum för cirka 650 miljoner år sedan. En del forskare har trott sig finna argument för att just denna nedisning på grund av en mycket debatterad "galopperande" klimutförsämring ledde till en global nedisning. De har dessutom känt sig inspirerade att mynta begreppet *snöbollsjorden* (eng. Snowball Earth) för att beskriva detta avsnitt i jordens historia.

Tilliterna i vilhelminafjällen

Tilliter från detta tidsavsnitt var ämnet för förra höstens (2003) arrangemang av Geologins dag i Klimpfjäll, långt uppe i vilhelminafjällen. För att komma undan eventuella snöstormar och för att slippa älgjakten, tjuvstartade arrangemanget redan i augusti. Arrangemanget omfattade dels föredrag i Klimpfjäll, dels organiserades en exkursion till Trappstegsforsen vid Kultsjöns utlopp. Trappstegsforsen är lätt tillgänglig längs vägen mellan Vilhelmina och Saxnäs. Dessutom finns där den exotiskabergarten, tillit, alltså en förstenad



Stratigrafisk sektion över lagerserien på västra sidan av Trappstegsforsen. Här finns bergarter som tillhör tre olika sedimentära bergartsenheter liggande på varandra. Enheterna heter Risbäcksgruppen, Långmarkbergsformationen och Gärdssjöformationen. Det är vanligt i Skandinavien att en tillitenhet består av en strukturlös, sandig till stenig undre del och en övre finkornig del, alltså en skiktad slamsten med spridda flyttblock och stenar här och där. Figuren visar att vi finner samma förhållande även i Trappstegsforsen, där tilliten är ungefär två meter tjock och således ganska tunn. Se vidare Faktarutorna: grupper och formationen samt stratigrafi.

Faktaruta: stratigrafi

Stratigrafi är läran om den vertikala ordningen av sedimentära eller vulkaniska lager, skikt. En uppsättning av lager kallas lagerserie. Om en lagerserie företrädesvis består av en typ av bergarter eller nära besläktade bergarter, kan en sådan lagerserie beskrivas som en bergartsenhet. Förenklat kan sägas att en kalkstensenhet, en sandstensenhet, en slamstensenhet eller varför inte en enhet av vulkanisk aska i en lagerserie var för sig bildar bergartsenheter. Här kan också nämnas att en bergartsenhet som i en orubbad lagerserie ligger på en annan bergartsenhet är yngre än den enhet den ligger på.

Har man exempelvis en horisontalt liggande lagerserie av bergarter, som – låt oss säga – är 200 m tjock. Om den undre delen av denna lagerserie domineras av vulkaniska askor, medan den övre delen domineras av kalkstenar, så vet vi att vulkanisk verksamhet inledningsvis styrde utvecklingen i området. Det är dessutom känt bland geovetare att kalkstensbildning inte tål konkurrens, och eftersom lagerserien i vårt exempel domineras i den övre delen av kalkstenar så måste det rimligtvis betyda att den vulkaniska verksamheten avtog med tiden.

Varje lager och bergartsenhet motsvarar alltså en viss geologisk process eller en energinivå i processen. En stark flod fraktar stora stenar, en liten rännil fraktar i bästa fall sand. Genom noggranna studier av sedimentära och vulkaniska lagerserier kan man alltså med relativt god tillförlitlighet upprätta en beskrivning av de händelseförlopp som var ansvariga för lagerseriens bildning. Stratigrafi blir alltså i verkligheten en spännande historisk vetenskap, som kan ge inspiration till landskapsmåleri. Tänk dig en tavla som illustrerar ett landskap från någon del av vår jord för exempelvis två miljarder år sedan. Den enda avgörande skillnaden skulle vara avsaknaden av vegetation – inget mer!

morän. Själva tilliten tillhör en bergartsenhet känd under namnet Långmarkbergsformationen.

Den sedimentära sekvensen i Trappstegsforsen består av tre skilda bergartsenheter (se figuren ovan). Trappstegen i forsen består av sandstensbankar i tillitens underlag. Sandstenen tillhör en enhet med namnet Risbäcksgruppen. Namnet har sin härstamning från byn Risbäck i dalgången söder om kultsjödalen. I Risbäckstrakten utgör en cirka 50 m tjock dolomitenhet (Kalvbergsformationen) toppen av Risbäcksgruppen. Tilliten överlagras där dolomiten. I Trappstegsforsen är dolomiten (Ca-Mg-karbonatbergart) borthyvlad av den

dåtida inlandsisen och den finns där bevarad endast i form av istransporterade stenar i själva tilliten (fotot nästa sida). Isens eroderande inverkan skapade ett ojämt underlag på vilket tilliten i bl.a. Trappstegsforsen avsattes (foto sidan 11).

Tillitförekomster från samma nedisning har även påträffats i trakten av Grytsjön och Stalon öster om Trappstegsforsen och sedan längs fjällkedjan ned till nordänden av Ströms vattudal i Jämtland. Motsvarande tilliter finns beskrivna även från norska Finnmarken i norr och Hedmark i söder. Isräfflor från denna tid finns beskrivna från norska Finnmarken, medan andra



Finkornig tillit med en större boll av dolomit, ger sig till känna genom att den vittrar lättare än sin omgivning och genom sin karaktäristiska vittringsfärg. För stratigrafiska läget se figuren på föregående sida.

ojämnheter i form av mer eller mindre grova fåror i isens rörelseriktning har noterats på flera håll från de hittills kända tillitförekomsterna i Skandinavien. Den stora geografiska spridningen av tilliter i Norden ger anledning att tro att åtminstone hela Norden, om inte hela jorden, täcktes av is i yngre proterozoikum. Norden låg vid den tiden nära sydpolen.

Eftersom Trappstegsforsen ligger nära bilvägen Vilhelmina-Stalon-Saxnäs-Klimpfjäll är den lätt att hitta och kan även besökas på egen hand. Trappstegsforsen är skyltad och har sin egen parkeringsplats vid avtagsvägen till Marsfjäll och Grytsjö. Från parkeringsplatsen går man cirka 400 m uppåt längs vägen mot Saxnäs. Efter en låg bergsskärning på högra sidan av vägen tar man tillhöger in i terrängen och går sedan tillhöger om den smala viken tills man kommer ned till stranden av älven vid övre änden av Trappstegsforsen. Där finner man tillitsekvensen. Den underlagras av arkoser inom Risbäcksguppen och överlagras av sandstenar och skiffrar av Gärdjöformationen (se faktaruta „utvecklingen i Skandinavien“).

Faktaruta: grupper och formationer

I syfte att förenkla kommunikationen geologer emellan är det vanligt att man ger namn åt bergartseheter som på något sätt har karaktäristiska egenskaper och avviker från andra enheter i samma lagerserie. Beroende på lagerseriens komplexitet kallas vissa enheter för *formationer* och andra för *grupper*. Definition och namngivning av formation har prioritet, vilket gör att i en tidigare obeskriven lagerserie skall formationerna skiljas ut först. Skulle lagerserien bestå av två eller fler formationer kan dessa tillsammans utgöra en grupp. Kan man dela upp en formation i mindre enheter skall dessa kallas *led*. Själva namngivning av bergartsenheter

sker enligt strikta rekommendationer och namnet hämtas från den ort eller det ställe där bergartseheten är särskilt väl tillgänglig för observationer.

Således, i likhet med denna praxis, har man beskrivit den sedimentära lagerserien även i områden kring Trappstegsforsen. Därvid har man även givit namn åt de enskilda bergartsenheterna. I Trappstegsforsen finner vi följande enheter: Risbäcksguppen, Långmarkbergsformationen och Gärdjöformationen. Namnen Risbäck härstammar från byn Risbäck i dalgången söder om Kultsjödalen, medan Långmarkberget och Gärdjön ligger mindre än tre mil längre söderut.

Faktaruta: utvecklingen i Skandinavien

Enligt den nu gällande tolkningen bildades Risbäcksguppen i samband med att en större kontinent började spricka upp, varvid gruppens sediment (numera omvandlade till bergarter) avsattes i sprickdalar liknande dem i Östafrika idag. Processen fortsatte så att ett nytt hav med en kontinentalhylla (shelf) och kontinentalbrant bildas. I dess kustområden och i det grunda havet på kontinentalhyllan avsattes, i enheter, växelvis sand och slam. Dessa sediment återfinns i dag som kvartsiter och skiffrar i Gärdjöformationen. Under processen från uppsprickning av kontinenten till bildningen av havet skedde en drastisk klimatändring så att (åtminstone)

delar av jorden täcktes av is. Då bildades tilliterna i Långmarkbergsformationen och dess motsvarigheter på andra håll i Skandinavien. Geologiskt sett var denna nedisning en relativt kort-varig händelse, men den tillät bildningen av en lätt igenkännbar bergartsenhet, som i Skandinavien kan spåras från sydöstra Norge via Jämtland och södra Lappland till Finnmarken i nordligaste Norge. Tilliterna intar alltså ett läge mellan Risbäcksguppen och Gärdjöformationen och delar således vår lagerserie i två delar. De bidrar på ett avgörande sätt till en betraktelse om Skandinavien geologiska utveckling.

Tillitsekvensen på västra sidan av Trappstegsforsen. Hammaren står på den underliggande arkosen. Större bollar finns särskilt i den grovkornigare, basala banken (se figur på sidan 9).



I exkursionen till Trappstegsforsen deltog även en grupp utländska geologer som ville se på yngre proterozoiska istidsavlagringar i svenska fjällen. Deras exkursion fortsatte vidare till Risbäck och söderut. Författarna tackar geologins dags arrangörer och sponsorer, främst Annica Gundström, Vilhelmina kommun och SGU för att exkursionen kunde genomföras. Torbjörn Thelander förbättrade texten.

Vidare läsning

- Hyde, W.T., Crowley, T.J., Baum, S.K. och Peltier, W.R., 2001: Life, geology and snowball Earth; a reply. *Nature* 409, 306.
- Kulling, O., 1942: Grunddragen av fjällkedjerandens bergbyggnad inom Västerbottens län. *Sveriges Geologiska Undersökning C445*, 1–320.
- Kumpulainen, R. och Nystuen, J.P., 1985: Late Proterozoic basin evolution and sedimentation in the westernmost part of Baltoscandia. I D.G. Gee och B.A. Sturt (red.): *The Caledonide Orogen – Scandinavia and Related Areas*, 213–232. John Wiley & Sons. Chichester.

Meert, J.G. och Van der Voo, R., 1994: The Neoproterozoic (1000–540 Ma) glacial intervals; no more snowball Earth. *Earth and Planetary Science Letters* 123, 1–4.

Schrag, D.P. och Hoffman, P.F., 2001: Life, geology and Snowball Earth. *Nature* 409, 306.

Thelander, T., 1981: The Late Precambrian Långmarkberg Formation in the central Swedish Caledonides. s. 615–619, I M.J. Hambrey och W.B. Harland (red.): *Earth's pre-Pleistocene glacial record*. Cambridge University Press. Cambridge.

Reinhard O. Greiling är professor vid Geologisch-Palaeontologisches Institut Ruprecht-Karls-Universität i Heidelberg;
er8@ix.urz.uni-heidelberg.de

Risto Kumpulainen är docent och forskare vid institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet; risto.kumpulainen@geo.su.se

Alnön – en 584 miljoner år gammal vulkan?



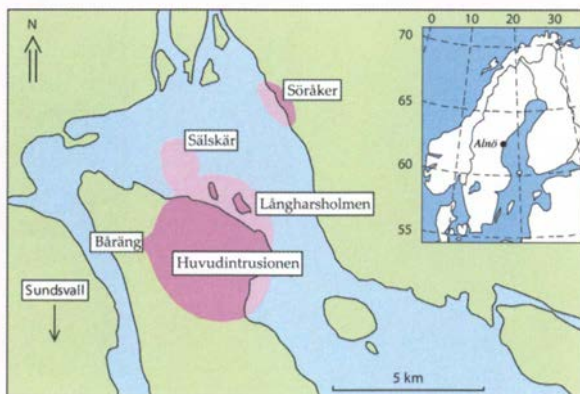
Alnöit

Alnön, strax utanför Sundsvall, är ett geologiskt unikum i Sverige. Men vad representerar de mycket speciella bergarterna egentligen? Kan Alnön med sina mineral och bergarter visa släktskap med en viss typ av aktiv karbonatitvulkanism i Afrika, och kan det ha funnits en aktiv vulkan där för ca 584 miljoner år sedan?

AV JAANA HODE VUORINEN

Alnön, en liten ö belägen strax utanför Sundsvall på centrala Sveriges östkust, är en unik plats i den svenska berggrunden, både med avseende på ålder (ca 584 miljoner år) och sammansättningen på de bergarter man finner där. Den unika sammansättningen på bergarterna och den rika mineralflora som finns på ön har gjort att vetenskapliga studier av bergarter och mineral har varit många, och mer eller mindre kontinuerliga sedan slutet på 1800-talet då A.E. Törnebohm för första gången beskrev bergarten alnöit från platsen. Även mineralletare har vid flera tillfällen hittat till Alnön för att plocka t.ex. baryt, flogopit, perovskit, pyroklor, kankrinit m.fl. andra någorlunda udda mineral.

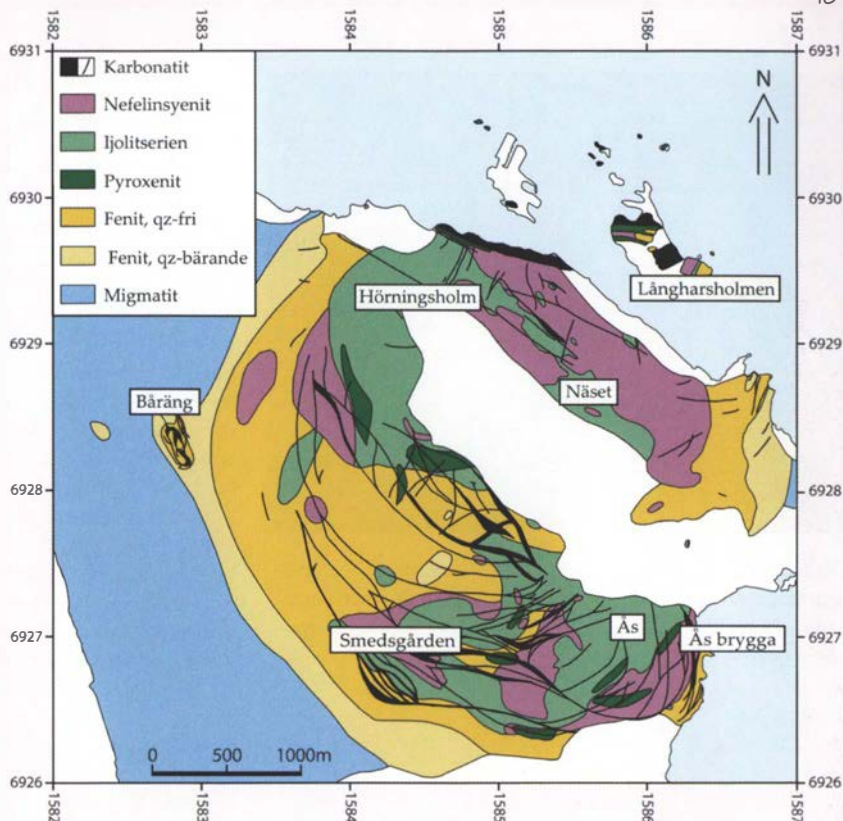
Alnös unika bergarter finner man på den nordöstra delen av ön, på holmarna och skären strax norr om ön, samt på fastlandet ca 4 km norrut. Själva bergarts-komplexet består av flera olika delintrusioner, alla vad det verkar med lite olika åldrar som successivt blir yngre ju längre söderut man rör sig, så att den äldsta intrusionen påträffas längst norrut på fastlandet och den yngsta återfinns längst söderut på huvudön. Tidigare undersökningar av Alnö-komplexet, dess ålder, bergarter och mineral av t.ex. Kresten (1979, 1990), har visat att det troligen är uppbyggt av fem delintrusioner: Söråkerintrusionen som återfinns på fastlandet norr om Alnön; Salskärintrusionen som är belägen under havet norr om Alnön och vars bergarter enbart har påträffats i block; Långharsholmens ringintrusion vars bergarter finns blottade på Långharsholmen norr om Alnön; huvudintrusionen som finns blottad på Alnös nordöstra hörn och slutligen Bårängintrusionen som är belägen strax väster om huvudintrusionen (se karta ovan).



Schematisk karta som visar den geografiska fördelningen av delintrusionerna i Alnökomplexet. Från Kresten 1990.

Den största vetenskapliga insatsen och det mest omfattande beskrivande arbetena utfördes av Harry von Eckermann under de tidigare delarna av 1900-talet, och 1948 publicerade Sveriges geologiska undersökningar hans klassiska monografi "The alkaline district of Alnö Island". Monografen innehåller en stor mängd data och beskrivningar av bergarter och lokaler som idag tyvärr är otillgängliga då de antingen är övervuxna eller har försvunnit vid hus- och vägbyggen och dylik verksamhet. Trots att tolkningarna av bergarterna och deras bildningsprocesser i denna skrift idag anses felaktiga är datamängden unik och mycket användbar. Harry von Eckermann publicerade också ett stort antal kortare publikationer och gjorde bl.a. den första dateringen av

Geologisk karta över
Långharsholmen-,Båräng
och huvudintrusionen på
nordöstra Alnön.



komplexet och bestämde dess ålder till 562 miljoner år, en ålder som stämmer väl överrens med senare försök till detsamma gjorda av t.ex. Kresten (1990) och Bruckner och Rex (1980). von Eckermanns senare publikationer och undersökningar behandlade huvudsakligen de talrika gångar man finner på ön och dess omgivningar samt problematiken kring de kalcitförande bergarter som finns på ön.

Efter Harry von Eckermanns insatser har arbeten med bergarterna och mineralen på Alnön utförts av Peter Kresten. Sammanställningar av de data som framkommit finns bl.a. i ett antal kortare publikationer, SGUs beskrivning till berggrundskartan över Väster-norrland län (där Alnön behandlas separat både med avseende på beskrivning och kartor), samt i en volym publicerad i samband med ett karbonatitsymposium som hölls 1979.

De senaste stora och omfattande studierna av Alnön gjordes på 1980- och 1990-talen av Viorica Morogan, som i sin doktorsavhandling behandlar de metasomatiska omvandlingar av sidoberget som är associerade med intrusionen av Alnöns bergarter (fenitisering). I en senare publikation av Morogan och Lindblom (1995) behandlas också genesen av de alkalina och kalcitförande bergarter som finns på Långharsholmen.

Alnö-komplexets bergarter

Floran av bergarter på Alnön och dess omgivningar är som redan nämnts unik och mångfaldig. Något förenklat kan man säga att här finns sex huvudtyper och ett antal mindre typer som inte förekommer i lika stor utsträckning. Volymmässigt är *ijolitseriens* bergarter vanligast och den huvudsakliga koncentrationen av dem finner man i huvudintrusionen (se karta ovan). Ijolitserien omfattar bergarterna *melteigit*, *ijolit* och *urtit* som inbördes skiljer sig åt med avseende på *nefelin*-, *pyroxen*- och *granathalt* (se faktaruta). Den här gruppen av bergarter är heterogen, inte bara med avseende på halten av huvudmineral, utan också då man tittar på intrusionmönster (foto nästa sida) och kornstorlek. Variationer i kornstorlek från millimeter till centimeter över korta avstånd (ett fåtal decimeter) är inte ovanligt.

Till ijolitserien kan man även räkna vissa *pyroxeniter*. Pyroxenit är som namnet antyder en bergart som till mer än 90 vol% består av pyroxen. Pyroxeniter finns på ett fåtal ställen på Alnön (se karta ovan) som linsformade kroppar, fragment och xenokryster inneslutna i ijolitseriens bergarter, och är sannolikt tidiga kumulat (kristallansamlingar) som bildades då ijolitmagma började stelna. En annan typ av pyroxenit finns som metamorfa differentiat i *feniter* och är därmed inte magmatiska enligt Kresten (1996).



Häll av ijolitseriebergarter vid Hörningsholm. Notera variationen i kornstorlek, mörka och ljusa mineral samt den nästan breccia-liknande karaktären i intrusions-mönstret.

Den näst vanligaste bergarten på Alnön är *nefelinsyenit*. Denna skiljer sig från ijolitseriens bergarter då den innehåller kalifältspat. I fält kan ijoliter och nefelinsyeniter vid en första anblick se sig ganska lika men studerar man dem noga kan man se kalifältspaternas plana spalptytor i nefelinsyenit, något som ijolitseriens bergarter saknar. Nefelinsyenit är också en mer homogen bergart som varierar mycket lite i mineralsammansättning och kornstorlek (ett litet antal pegmatitiska varianter finns dock).

Karbonatit är kanske den mest spektakulära bergarten på Alnön. Spektakulär på så sätt att den innehåller magmatiskt kalciumkarbonat (CaCO_3), ett mineral som vanligtvis bildas genom utfällning i haven och som således återfinns i marina kalkstenar. På Alnön uppträder karbonatiterna som gångar och linsformade kroppar, som varierar i bredd från ett fåtal centimeter till flera 10-tals meter. De största och mest talrika gångarna, undantaget den stora och mäktiga gången på Långharsholmen, finns i den allra sydligaste delen av huvudintrusionen i området kring Smedsgården (se karta föregående sida). Mineralogiskt domineras karbonatiterna på Alnön av kalcit (*sövit*=Ca-karbonatit eller kalcit-karbonatit) men dolomitförande varianter (*beforsit*) finns också, om än underordnat. Förutom kalcit består de flesta karbonatiterna också av olika typer av silikater (t.ex. *olivin*, *pyroxen* [diopsid-ägirinaugit], *flogopit*-biotit, *nefelin*, kalifältspat, *Ti-andradit*), apatit samt oxider (magnetit, *pyroklor* och

perovskit). De variabla halterna och variationerna sammansättning hos de silikatmineral som finns i karbonatiterna tyder på att mycket av det materialet är inkorporerat från sidoberget och inte har kristalliserat i karbonatitmagman. I många fall är de platta och stavformade silikaterna och apatit parallellorienterade så att en vacker flödesbandning kan ses i häll (foto till höger). Karbonatiternas kornstorlekar varierar i regel med storleken på gången så att små och smala gångar är mer finkorniga är stora och breda. Extremt grovspatig karbonatit återfinns i block vid Ås brygga (se karta föregående sida) samt i häll på Stugholmen och omgivande skär och har kallats sövit-pegmatit av Kresten (1990). Troligtvis har denna typ av karbonatit bildats via omkristallisationsprocesser av en ursprungligen mer finkornig variant.

Feniter omfattar en grupp mycket heterogena bergarter som utgörs av det omvandlade sidoberget. Volymmässigt är denna grupp bergarter också mycket viktig då omvandlingszonen runt huvudintrusionen på vissa platser blir ca 600 meter bred.

Alnöit är en gångbergart som har sin typlokal vid Näset på Alnön (karta föregående sida). Bergarten beskrevs ursprungligen redan 1882 av Törnebohm och kallades då för melilit-basalt. Volymmässigt är bergarter underordnad de övriga redan nämnda men den har ändå dragit till sig en hel del uppmärksamhet, främst p.g.a. att den har många likheter med de bergarter som bär diamanter (*kimberlit*) men vetenskapligt också p.g.a. att den kan berätta en del om den mantelkälla som genererade den magma som Alnöbergarterna kristalliserade från. Blottningarna av alnöit är ganska få men bergarten är lätt att känna igen på sina stora strökor av flogopit, megakryster av pyroxen och amfibol och mörka färg. Vissa av alnöiterna bär enligt Kresten (1990) också brottstycken av den övre manteln. En speciell variant av alnöit, som är extremt rik på xenoliter från i princip hela jordskorpan som finns under Alnön, från de nedre delarna (granuliter) till de övre (diabas, sandsten och granit), finns vid Hovid på den nordvästra delen av ön. Gången har fått namnet Hovid-breccian och är en av de lokaler (tillsammans med bl.a. alnöitens typlokal vid Näset och nefelinsyenitbrottet vid Bolidenlokalen) som är naturminnesmärkta och skyddade enligt svensk lag.

Andra, mer sparsamt förekommande, men inte desto mindre viktiga bergarter finns t.ex. vid Söråker (se karta sidan 12). Denna delintrusion är mycket dåligt blottad men talrika block av en melilit-förande bergart (*uncompagrit* eller *pyroxen-melilitolit*) finns att studera nere vid stranden. Den här bergarter är tillsammans med alnöiten och karbonatiterna en viktig nyckel för förståelsen för hur Alnös bergarter bildades och vilken typ utav mantel som gav upphov till den magma (eller de magmor) ur vilken Alnö-komplexets bergarter stelnade.



Vackert flödesbandad håll av karbonatit. Från det stora brottet vid Smedsgården.

Alnön i relation till andra förekomster – Oldoinyo Lengai.

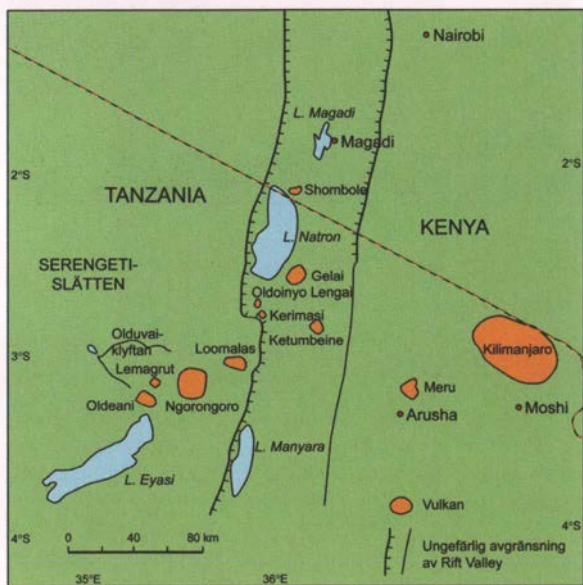
Även om de bergarter man finner på norra Alnön är unika med svenska mått mätt är de inte de enda förekomster av den här typen som man känner till. Flertalet olika platser runtom i världen kan uppvisa samma bergartsrelationer och samma typ av variationer som finns på Alnön. En sak har alla dessa intrusioner och komplex dock gemensamt: de är alltid associerade till ett kontinentalt rift- eller graben-system, d.v.s. områden i jordskorpan där kontinenter spricker / någon gång har spruckit sönder eller åtminstone utsatts / har utsatts för någon form av extension. Exempel på sådana gamla system är t.ex. Gardar-riften på Sydgrönland (1300–1100 miljoner år), Kandalaksha-graben på Kolahalvön (300–200 miljoner år), Rhen-graben i Tyskland samt Oslo-riften i Norge (se artikeln av Trine-Lise Knudsen i detta häfte). Alla dessa platser är välkända för flertalet intrusioner av samma eller liknande karaktär som de man finner på Alnön, t.ex. Qassarsuk och Qôrôq på södra Grönland, Turyi och Khibina på Kolahalvön, Kaiserstuhl i Tyskland och Fenkomplexet i Norge. Studier av dessa och liknande komplex på andra platser världen om har ökat kunskapen om hur den här speciella typen av

magmatism skapas. Det absolut bästa sättet för en geolog att få information om det man studerar är dock att se saker "live", d.v.s. studera det samtidigt som det händer. Turligt nog för den som studerar karbonatiter och associerade silikatbergarter finns ett sådant, nu aktivt naturligt laboratorium att gå till (även om det är en bit bort); Oldoinyo Lengai i Tanzania. Oldoinyo Lengai är den enda nu aktiva vulkan som kontinuerligt erupterar karbonatitlava omväxlat med mer sällsynta perioder av nefelinsyenitisk och ijolitisk lava.

Oldoinyo Lengai är en 2886 meter hög stratovulkan (foto nästa sida) som ligger i det östafrikanska riftsystemet. Vulkanen ligger nära den västra förkastningen som begränsar Rift dalen (Rift Valley), strax söder om Lake Natron, ca 100 km väster om Kilimanjaro (se karta nästa sida) och knappt 80 km söder om den kenyanska gränsen. Förkastningssystemet som begränsar Rift dalen tros vara så gammalt som 1,2 miljoner år men Oldoinyo Lengai är en förhållandevis ung vulkan, ca 370 000 år. Ett flertal äldre vulkaner, t.ex. den redan nämnda Kilimanjaro, samt även Kerimasi, Shombole och den mer välkända Ngorongoro-kratern återfinns i omgivningarna. Närmaste granne är



Oldoinyo Lengai. Foto Frederick A. Belton;
www.mtsu.edu/~fbelton/lengai.html.



Karta som visar Oldoinyo Lengais position i förhållande till Kilimanjaro, Kerimasi, Shombole, Ngorongoro och Lake Natron.

Kerimasi som ligger ca 10 km söder om Oldoinyo Lengai och har även den erupterat karbonatitlavor. Huvuddelen av Oldoinyo Lengais utbrottsprodukter utgörs av silikatlavor av ijolitisk och nefelinsyenitisk karaktär och endast en bråkdel av utgörs av senare karbonatiter (jmf med kartan över Alnön, karbonatiter är även här underordnat och intruderar senare än silikatbergarterna). Det som gör Oldoinyo Lengai speciell är inte bara att det är den enda nu aktiva karbonatitvulkanen

utan också samman-sättningen på de karbonatiter som bildas där. Av hittills 450 kända förekomster av karbonatiter världen runt, både plutoniska och vulkaniska, är majoriteten Ca-karbonatiter, d.v.s. huvudbeståndsdelen är kalцит. Näst vanligast är Mg-karbonatiter (d.v.s. dolomitförande) följt av mycket sällsynta ankeritförande karbonatiter (Fe-rika karbonatiter). Den allra ovanligaste varianten finner man dock på Oldoinyo Lengai: Na-karbonatiter. Huvudmineralen i den här unika typen av karbonatit är Na- och K-karbonaterna *nyerereit* och *gregoryit*. Än mer unikt och speciellt blir detta då man betänker att Kerimasi, närmaste grannen knappt 10 km därifrån, enbart uppvisar Ca-karbonatitlavor! För att kunna bilda den här typen av Na- och K-rik karbonatitsammansättning krävs troligen en del speciella förutsättningar och många teorier har testats sedan man först insåg att Oldoinyo Lengais lavor var udda jämfört med tidigare kända förekomster. T.ex. har man undersökt om sediment som avsatts i den närbelägna Lake Natron möjligen kan ha påverkat sammansättningen på vulkanens utbrottsprodukter men det har visat sig (genom studier av stabila isotoper) att så inte är fallet.

Kan man då verkligen säga att Oldoinyo Lengai, när den nu är så unik med avseende på sammansättningen på karbonatitlavorerna, kan jämföras med andra förekomster, som t.ex. Alnön? Jo, det kan man. Om man tittar närmare på de xenoliter som framförallt silikatlavorerna på Oldoinyo Lengai har dragit med sig upp från vulkanens rotzon (där tidigare magmapulser till viss del har stelnat till djupbergarter som de man finner på Alnön) så kan man konstatera att en stor del av dem utgörs av pyroxeniter, ijolitseriebergarter, nefelinsyeniter och faktiskt också Ca-karbonatiter! Med andra ord måste det på djupet någonstans under Oldoinyo Lengai finnas ett plutoniskt komplex som är mycket likt det som finns på Alnön.

Fanns det en aktiv vulkan på Alnön för 584 miljoner år sedan?

Det är ganska svårt att svara entydigt och enkelt på den frågan. Kresten (1990) har spekulerat i att inte mer än 1–2 km ovanliggande berg har eroderats bort sedan bildningen och att det faktiskt var så att det fanns en ytlig manifestation av den kammare som vi kan se i form av djupbergarter på Alnön idag. Baserat på en del enkla fältobservationer kan vi mycket riktigt konstatera att det nog är så att den magmakammare som finns exponerad på norra Alnön idag (i form av de intrusioner vi ser) troligen var ganska grund. Till att börja med kan man titta på att talrika gångar av olika sammansättning som finns blottade över hela ön och långt in på fastlandet norr, väster och söder därom. Mängden gångar indikerar dels att vi antagligen bara ser toppen av kammaren idag och att det på djupet finns mycket mer

av de bergarter som vi på ytan kan observera, men också att trycket på den kristalliserande magman antagligen inte var så högt. Trycket av volatiler (vatten- och CO₂-rika lösningar) i magman översteg trycket av överliggande berg vilket gjorde att detta med kraft kunde spräckas sönder, vilket i sin tur tillät att magma intruderade i de öppnade sprickorna och bildande gångarna. Ytterligare en indikation på en grund kammare utgörs av den omfattande fenitiseringszonen. Fenitiseringen sker då volatiler avgas från den intruderande magman (tillsammans med andra komponenter). Denna process kan bara ske då trycket på själva magmakammaren blir tillräckligt lågt för att tillåta att volatilerna smiter iväg. Man kan jämföra detta med hur kolsyra i läsk hålls kvar i läskan så länge flaskan är stängd (=trycket är högt), men vandrar iväg så fort man öppnar flaskan (=trycket sänks). Så länge Alnö-magman

befann sig på stort djup hölls volatilerna kvar men då trycket blev tillräckligt lågt (=grundare djup i jordskorpan) tilläts de vandra in i sidoberget och skapa den 600 meter breda omvanslingszonen. Detta stämmer också väl med observationer av andra komplex av samma karaktär där det verkar som om omfattningen på fenitiseringszonen korrelerar med djupet på intrusionen. Med andra ord så stelnade bergarterna på grunt djup (troligen inte mer än 2 km) och det är mycket sannolikt att magma från kammaren också nådde den dåvarande markytan i form av vulkanutbrott. En ganska tydlig indikation på att vulkanisk aktivitet kan ha funnits på Alnö för 584 miljoner år sedan ser man i de bergarter som finns i Sälkärintrusionen. Blocken från Sälkärintrusionen består av karbonatit-lapilli, en bergart som bara kan ha bildats mycket ytnära eller kanske t.o.m. på den dåvarande markytan.

Faktaruta och ordlista

Pyroxen = ino-silikat, (diopsid, ägirinaugit) = Ca, Mg, Fe, Na-silikat

Nefelin = NaAlSi₃O₈ (Na, Al-silikat)

Olivin = neso-silikat, (Mg, Fe)₂SiO₄

Ti-andradit = Ca-, Ti- och Fe-rik granat (ett neso-silikat)

Pyroklor = Nb-oxid

Perovskit = CaTiO₃

Flogopit-biotit = K-, Mg-, Fe-skikt-silikat

Melteigit = > 70 till < 90 vol% pyroxen, resten nefelin. Ti-andradit och apatit blir ibland viktiga komponenter

Ijolit = 30–70 vol% pyroxen, resten nefelin. Övriga mineral som ovan.

Urtit = < 30 vol% pyroxen, resten nefelin. Övriga mineral som ovan.

Plutonisk bergart = djupbergart, har stelnat i jordens inre


Lapilli [italienska – liten sten] = finkornig (2–64 mm) vulkanisk aska

Litteratur i urval

- Brueckner, H.K. & Rex, D.C., 1980: K-Ar and Rb-Sr geochronology and Sr isotopic study of the Alnö alkaline complex, northeastern Sweden. *Lithos* 13, 111–119.
- Dawson, J.B., Smith, J.V. & Steele, I.M., 1995: Petrology and Mineral chemistry of plutonic igneous xenoliths from the carbonatite volcano Oldoinyo Lengai, Tanzania. *Journal of Petrology* 36, 797–826.
- Dawson, J. B., 1962: Sodium carbonate lavas from Ol'doinyo Lengai, Tanzania. *Nature* 195, 1075–1076.
- Eckermann, H. von, 1966: Progress of research on the Alnö carbonatite. I O.F. Tuttle & J. Gittins (red.): *Carbonatites*. John Wiley and sons. 591 s.
- Eckermann, H. von, 1948: The alkaline district of Alnö island. *Swedish Geological Survey Ca* 36, 176 s.
- Hode Vuorinen, J & Skelton, A.D.L., 2004: Origin of silicate minerals in carbonatites from Alnö Island, Sweden – magmatic crystallization or wall rock contamination? I tryck, *Terra Nova*.
- Kresten, P., 1979: *The Alnö complex: discussion of the main features, bibliography and excursion guide*. Nordic Carb Symp. 67 s.
- Kresten, P., 1990: The Alnö area (Alnöområdet) I T. Lundqvist, D. Gee, R. Kumpulainen, L. Karis & P. Kresten (red.): *Beskrivning till berggrundskartan över Västernorrlands län. Sveriges Geologiska Undersökning Ba* 31, 238–278.
- Morogan, V., 1988: Fenitization, Hallmark of the Ijolite-Carbonatite Magmatic Association. Opubl. doktorsavhandling. *Meddelande från Stockholms universitets geologiska institution nr: 274*, Stockholms universitet.
- Morogan, M. & Lindblom, S., 1995: Volatiles associated with the alkaline-carbonatite magmatism at Alnö, Sweden: a study of fluid and solid inclusions in minerals from the Långarsholmen ring complex. *Contributions to mineralogy and petrology* 122, 262–274.

Jaana Hode Vuorinen är doktorand vid institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet;
jaana.vuorinen@geo.su.se

Sveriges största plana yta



När vi talar om berggrunden handlar det ofta om hur den bildats. Vi tänker inte så mycket på att det vi ser idag ofta är skapat av processer som verkat långt efter att bildningen avslutats. I denna artikel berättas om berggrundens former i södra Sverige, om det mer än 500 miljoner år gamla subkambriska peneplanet som i sin storlek och varaktighet är mer spektakulär än vad många vet.

Det subkambriska peneplanet med rester av den tidigare överliggande kambriska sandstenen (pilen). Råbäcks hamn, Västergötland

AV KARNA LIDMAR-BERGSTRÖM

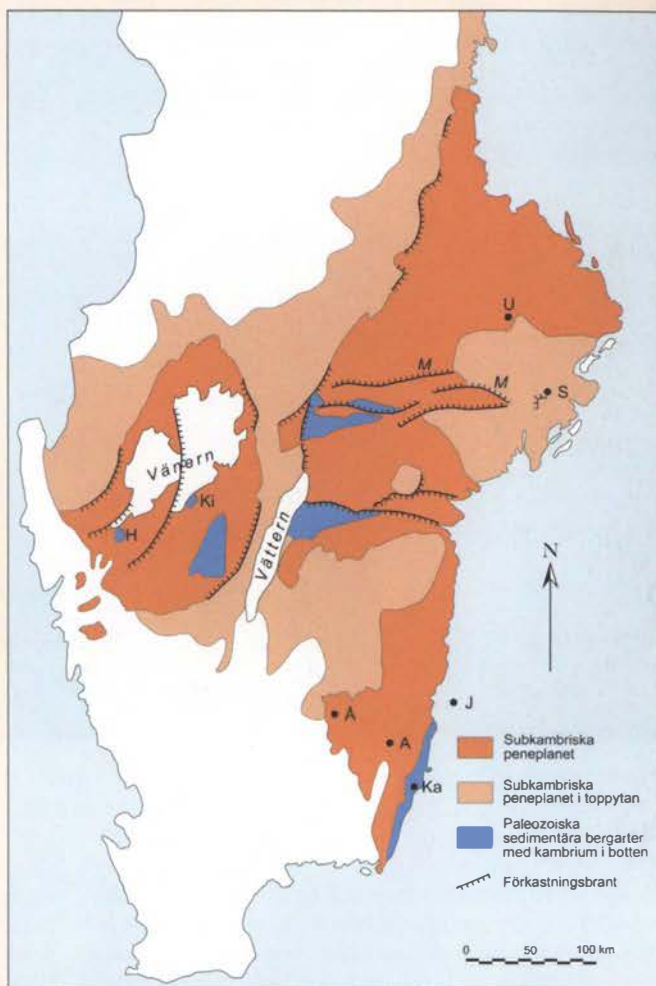
Hur och när den platta berggrundsytan kom till

Sverige har en omväxlande natur, somliga delar är alldeles platta, andra är kuperade och översållade med bergkullar som reser sig 100 m, 200 m eller mer över sin omgivning och ytterligare andra områden kännetecknas av höga fjäll och djupa dalar. I sydöstra Sverige, kring Vänern och i norra Uppland är det extremt platt. I Trollhättan behöver man inte ens asfaltera somliga skolgårdar och i östra Blekinge finns parkeringsplatser direkt på berget. Det är alltså själva berggrundsytan som är så här platt. Hur har den blivit platt och när bildades dessa plana berghällar?

När det gäller tiden måste man skilja på när själva berggrunden bildades och när bergets överyta fick sin form. Berggrunden utgörs i större delen av Sverige av s.k. urberg, bildat under olika perioder för mellan 2,8 och 0,9 miljarder år sedan. De flacka ytorna, som täcker stora regioner av landet, har utbildats tvärs över urberg av helt olika ålder. Urberget har liksom skurits av. Hur

gamla är då dessa ytor? Kan vi veta det? Ja på ett ungefär, för de försvinner in under lagrade bergarter, som vi vet åldern på. Den platta ytan i sydöstra Småland och Blekinge försvinner in under kambrisk sandsten i sydöst. I Västergötland ligger flera platåberg med lager av sedimentära bergarter direkt på det platta urberget och underst ligger kambrium. På många ställen där dessa flacka hållar finns, kan man se smala gångar av just kambrisk sandsten. De platta hållarna fanns helt enkelt innan det kambriska havet bredde ut sig över urberget. Ibland fanns det sprickor som sand föll ned i då havsvågor sköljde över ytan. Eftersom den här platta urbergsytan haft ett täcke av kambrisk sandsten brukar den kallas det subkambriska peneplanet. Där ordet *sub* är latin och betyder under och *peneplan* också är latin och betyder nästan plan. Det subkambriska peneplanet har alltså länge legat under ett täcke av kambriska lagrade bergarter, som skyddat ytan.

Karta som visar det subkambriska peneplanets utbredning i södra Sverige. S = Stockholm, U = Uppsala, M = Mälardalen, H = Halle- och Hunneberg, Ki = Kinnekulle, J = Jungfrun i Kalmarsund, Ka = Kalmar, A = Aboda klint, Å = Åseda



Men hur kunde det då bli så platt? Vittring får berg att falla sönder och rinnande vatten plockar upp och transporterar material och allteftersom tiden går nöts även de högsta bergskedjor ned. Beroende på de geofysiska förhållandena i jordskorpan sker en kompenserande höjning samtidigt med erosionen, men till slut, om tiden är mycket lång, säg en hundra miljoner år, så kan de lyftande krafterna sluta att verka. Vittringen och erosionen nöter ned berget till ett peneplan, en nästan plan yta nära havsytans nivå. Det är så vi tror att det gått till.

En tunn zon med vittring (maximalt 5 m) finns i allmänhet mellan det friska, ovittrade urberget och rester av täckande kambriska lager. Denna vittrade översta del av det subkambriska peneplanet har brutits under Lugnäsberget i Västergötland för att användas till kvarnsten. En starkt bidragande orsak till att inga tjocka vittringstäckten kunde formas i slutet på prekambrisk tid var den totala avsaknaden av vegetation på land. Då delar av urbergsytan kom att blottläggas igen under senare geologiska perioder med varma fuktiga klimat

och vegetation som band vittringstäcktena, kunde dessa växa sig mer än 100 m tjocka, speciellt längs sprickzoner där grundvattnet rörde sig. Det subkambriska peneplanet förstördes sedan totalt, när vittringsmaterialet eroderades bort.

Vad är det då som gör att det subkambriska peneplanet i vissa delar finns kvar, i somliga områden t.o.m. fullkomligt intakt, medan det helt förstörts i andra? Jo, där det finns bevarat i dag har det varit skyddat av sitt kambriska täcke ända in i sen tid. Vad menas då med sen tid? Ja det vet vi faktiskt inte alldeles exakt, men vi tror ungefär fram till senare delen av tertiär-tiden och i vissa områden in i kvartärtiden.

Varför försvann det skyddande täcket? Krafter i jordens inre driver kontinenterna i sidled men orsakar också rörelser i vertikalled. När ett område höjdes upp eroderades helt enkelt det skyddande täckberget bort med hjälp av det rinnande vattnet i åar och floder. De rörelser som orsakade friläggningen av det subkambriska peneplanet har därför troligen skett under senare delen av tertiärtiden, för där det höjdes och



Det subkambriska peneplanet fotograferat från Aboda

blottades redan under mesozoisk tid vet vi att det blev förstört. Rester av mesozoiskt täckberg direkt på ett djupvittrat och kuperat landskap i t.ex. nordöstra Skåne talar sitt tydliga språk. Hur mycket täckberg som fanns kvar vid nedisningarnas inledning är oklart, men helt säkert fanns det mer än i dag. Glacialerosionen har alltså delvis hjälpt till med friläggningen.

Det subkambriska peneplanet i dag

I inledningen nämndes exempel på var det subkambriska peneplanet finns i dag. Man kan göra kartor över peneplanets utbredning (kartan föregående sida), som visar var det är välbevarat, var det finns som restplåtar och var det finns bara som en toppkonstans i områden med sprickdalar. Ibland är peneplanytan mer eller mindre horisontell, men ibland lutar den. Om man reser från Kalmar över Nybro och uppemot Åseda, så börjar man sin resa ovanpå det kambriska täckberget vid havsytans nivå, men kommer strax över på den platta urbergsytan. Landskapet är hela tiden platt, men det lutar svagt, så när man är framme i Åseda är man faktiskt ca 300 m över havet. Det är svårt att få någon överblick över denna väldiga yta, men väster om Mönsterås, vid Aboda klint har jordskorperörelser höjt upp ett parti, varifrån man har en strålande utsikt över

ett totalt platt landskap åt alla håll (foto ovan). På peneplanet finns det dock i undantagsfall något enstaka restberg och ett sådant är ön Jungfrun i Kalmarsund. Basen av berget under de kvartära sedimenten på havsbotten är inbäddad i kambrisk sandsten och gångar av kambrisk sandsten finns uppe på berget och mellan de tjocka granitbankarna. Hela berget har alltså varit inbakat i den kambriska sandstenen och sedan frilagts. Vid klar sikt är Jungfrun den enda lilla buckla man kan se vid horisonten från utsiktstornet vid Aboda klint. När man förflyttat sig en bit från kontakten med den överliggande sandstenen, så är peneplanet inte golvpant om man ser på dess detaljer, men i östra Blekinge, där inga kvartära jordlager täcker hållarna i närheten av kontakten till täckberget, så är peneplanet så platt att man kan parkera sin bil därpå (foto ovan till höger).

I Västergötland finns två lokaler där peneplanet är särskilt intressant att beskåda, dels vid Nordkroken där en helt platt yta sträcker sig ut från basen av Halleberg, som består av paleozoiskt täckberg med kambrisk sandsten i botten, och dels vid Råbäckshamn nedanför Kinnekulle. Vid Råbäckshamn kan man vid de tillfällen vattenståndet i Vänern är lågt se en svagt kuperad gnejsyta (en till två meters relief) med små kladdar av kambrisk sandsten sittande kvar här och var (se vinjettfotot). De små ojämnheter är alltså inte



Peneplan med parkerade bilar i östra Blekinge

orsakade av glacialerosionen utan fanns redan före den kambriska sandstenen avsattes. God utsikt över peneplanet har man från Kinnekulles topp. I Uppsala, som också ligger på peneplanet, kan man bestiga den rullstenås som ringlar genom staden och blicka ut över peneplanet som utgör grunden till Uppsalaslätten.

Glacialerosionen har bara marginellt kunnat orsaka någon omformning av det subkambriska peneplanet. Skillnaden är stor mot landskap karakteriserade av bergkullar, där isen ofta har plockat bort delar av hela berg på läsidan. En ursprungligen helt platt yta blir däremot i stort sett bara polerad och strierad på ytan av isen (se vinjettfotot).

Allt som är platt är inte delar av det subkambriska peneplanet

Till slut måste nämnas att det finns områden som är av yngre datum, som är nästan lika plana som det subkambriska peneplanet. Det finns dock en väsentlig skillnad. Det subkambriska peneplanet har mycket sällan restberg. Jungfrun är undantaget, som bekräftar regeln. Sydvästra Småland är också platt men här finns jämförelsevis gott om restberg av olika storlek och den flacka erosionsytan är mycket yngre.

Peneplanet som landskapsbild

De plattaste områdena i Sverige utgörs av det subkambriska peneplanet. Det är ibland sönderbrutet av markerade förkastningar, som bildar låga, långa höjdryggar, som t.ex. mårdarna längs Mälardalen (se kartan sidan 19). Där peneplanet har ett täcke av odlingsbara jordar upplever vi den flacka ytan, men ofta döljs peneplanet i skogar som i östra Småland eller i östra Västmanland och då tänker vi knappt på dess existens.

Litteratur

- Johansson, M., Olvmo, M. & Lidmar-Bergström, K., 2001: Inherited landforms and glacial impact of different palaeosurfaces in southwest Sweden. *Geografiska Annaler* 83A, 67–89.
- Lidmar-Bergström, K., 1994: Berggrundens ytformer. I *Sveriges Nationalatlas Berg och jord* (Temaredaktör: Curt Fredén), 44–54.

Karna Lidmar-Bergström är professor och lektor på Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet; karna@natgeo.su.se

I trilobiternas rike



Trilobiter är kanske de fossil som bäst kännetecknar den paleozoiska eran, ett tidsavsnitt då många stora djurgrupper utvecklades och lade grunden för dagens djurliv. Även om dinosaurierna må vara den mest kända fossilgruppen är förmodligen trilobiterna en av de mest populära, inte bara för paleontologer som studerar ryggradslösa djur utan även för fossilsamlare och geologi-intresserade. Denna artikel ger en inblick i trilobiternas nästan 300 miljoner år långa rike.

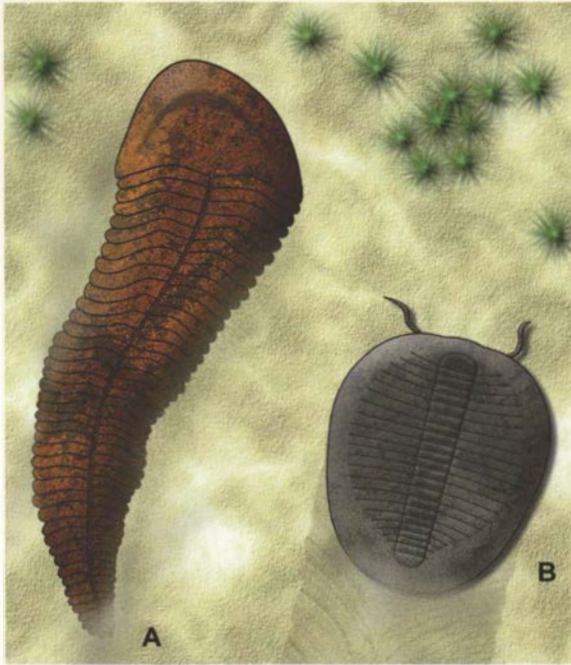
AV NIKLAS AXHEIMER

Det är inte ofta man i radio, tidningar eller på TV stöter på nyheter från paleontologins spännande värld. I de fall media rapporterar om nya fynd eller upptäckter är det allt som oftast dinosaurier eller andra storväxta bestar som får stå i rampljuset. Med andra ord, störst går först. Inte för att detta ska ses som någonting negativt, all information av geologisk karaktär som når ut till allmänheten är positiv även om ljuset sällan faller på fossilsamlarnas favorit, trilobiten. Trilobiter har haft ett stort vetenskapligt värde sedan slutet av 1600-talet och är än idag viktiga informationskällor som har mycket att berätta om jordens och livets historia.

Trilobiterna var en mycket framgångsrik djurgrupp som kom att spela en viktig roll i haven under kambrium och ordovicium, för omkring 540 till 444 miljoner år sedan. I yngre ordovicium började trilobiterna att avta i antal och artrikedom, till fördel för andra organismer. Knappt 300 miljoner år senare, i slutet av perm, försvann de för alltid från jordens yta. Trots detta kan vi studera dem än idag, till synes omärkbart förändrade efter att bevarats inneslutna i sedimentära bergarter under hundratals miljoner år.



En vackert utsträckt *Calymene* från Blåhäll på Gotland, förstora 7 ggr.



A. *Spriggina*. B. "Soft-bodied trilobite".

Trilobiternas ursprung

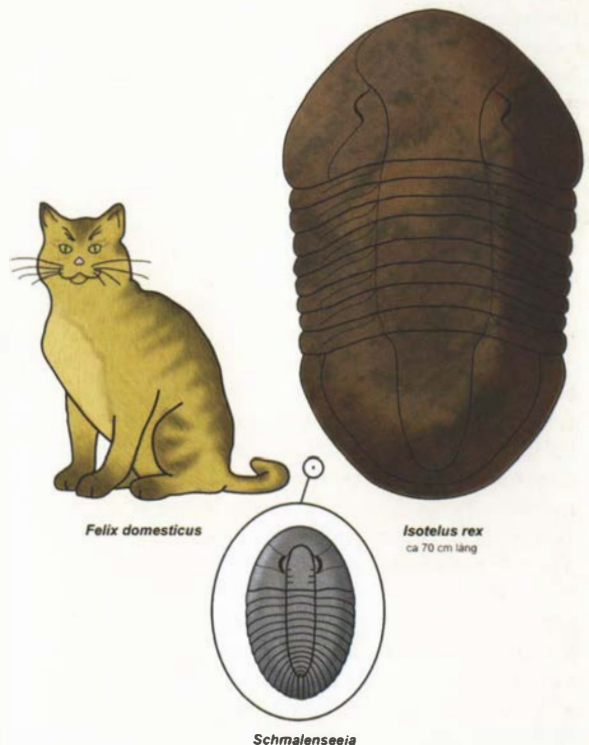
Det är mycket svårt, om inte omöjligt, att exakt säga när liv på jorden uppstod. De flesta forskare är idag överens om att livet förmodligen uppstod i havet, och att den inledande utvecklingen av djurstammarna under kambrium gick rasande snabbt. Livets uppkomst är ett flitigt debatterat ämne, redan före kambrium fanns det många olika primitiva organismer och man känner till bakterier så långt tillbaka i tiden som 3,5 miljarder år.

För ungefär 540 miljoner år sedan inträffade en extraordinär händelse i jordens historia, den kambriska explosionen. Kambrium, som är den äldsta av perioderna i paleozoikum, sträcker sig fram till för ca 489 miljoner år sedan då ordovicium inleddes. Med explosionen avses den intensiva och snabba utveckling av liv, främst djur, som skedde i kambriums inledningsskede, en ekologisk förändring utan dess like. Vad som orsakade denna utveckling av liv är inte fullständigt klarlagt, men en storskalig fotosyntes med ökad syrehalt i atmosfären och havet kan vara en av många bidragande faktorer. Bland de nya avancerade livsformer som fick de kambriska haven att koka av liv märks skalbärande djur som små armfotingar (brachiopoder), primitiva blötdjur (mollusker) och trilobiter. Trilobiternas historia går naturligtvis längre tillbaka i tiden än den kambriska explosionen – nya organismer dyker inte bara upp ur tomma intet, inte ens

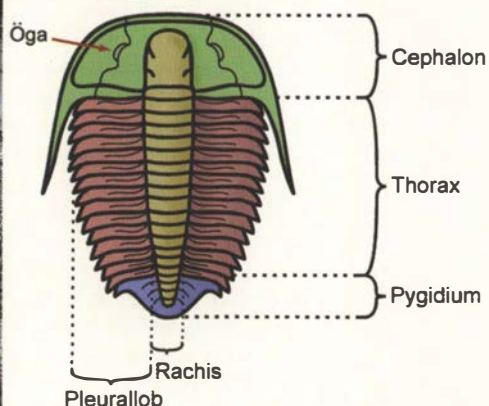
trilobiter. Tyvärr vet man förtvivlat lite om trilobiternas ursprung. Problemet ligger i att det fossila arkivet från prekambrium (tiden före kambrium) är begränsat, då flertalet organismer från denna tid inte producerade motståndskraftiga skal eller andra hårdvävnader av kalk. Bland de prekambriiska fossil man har hittat är det få som har en kroppsbyggnad som påminner om trilobiternas. Fossilet *Spriggina* (figur A till vänster), känt från marina grundvattenavlagringar i Australien, är en prekambrisk organism som ibland förmodats vara en förfader till trilobiterna (och andra leddjur). Denna uppfattning har emellertid övergetts. Förmodligen hade trilobiternas förfäder endast mjuka kroppsdelar (figur B till vänster), så kallade "soft-bodied trilobites" som på grund av sin ömtålighet ej bevarats som fossil.

Trilobiternas uppbyggnad

Trilobiterna är en klass leddjur som uteslutande levde i havet och var mycket mångformig och framgångsrik. I dagsläget har det beskrivits ungefär 5000 släkten och mer än 20 000 arter i alla tänkbara former och storlekar (se nedan), och fortfarande beskrivs årligen många nya



Trilobiter kan variera mycket i storlek. Världens största trilobit *Isotelus rex* blev över 70 cm lång medan de minsta, t.ex. *Schmalenseeia*, endast var ett par millimeter långa.



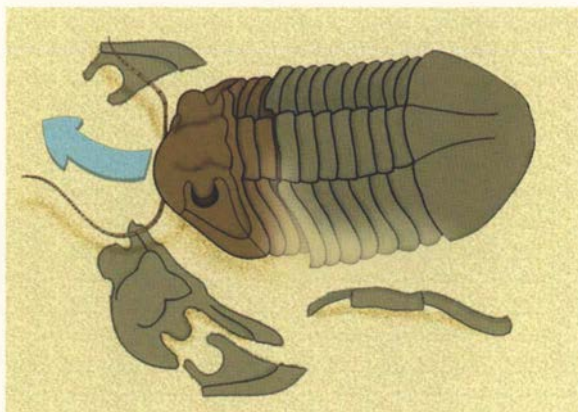
Trilobiterna hade tre, ofta tydligt åtskilda kroppsavsnitt: cephalon (huvud), thorax (mellankropp) och pygidium (bakkropp). Namnet har de fått av de två pleuralloberna (sidoloberna) och rachis (mittloben).

arter. Leddjur, det vill säga arthropoder efter grekiskans *arthro*=led och *pod*=fot, kännetecknas av ett hårt skal (exoskelett) och ledade ben samt antenner (extremiteter). Arthropoderna omfattar även nu levande djur som spindlar, insekter och kräftdjur. Exoskelettet ger skydd mot yttre påfrestningar, men fungerar också som fäste åt muskler. Trilobiterna hade ett väl förkalkat exoskelett och man kan urskilja tre tydliga kroppsavsnitt (se figur ovan); ett huvud (cephalon), en mellankropp (thorax) och en bakkropp (pygidium). Två längsgående fårör delar in ryggsidans exoskelett i tre områden; två lika stora sidolober (pleurallober) på var sin sida om mittloben (rachis). Det är dessa lober som gett namn till "tri-lob-it". Trilobit syftar alltså inte på kroppsavsnitten cephalon, thorax och pygidium, vilket är ett vanligt missförstånd.

Allteftersom trilobiterna växte blev exoskelettet för trångt och därför kastade de regelbundet sina skal, nästan som när en orm ömsar skinn. En sådan skalömsning benämns ecdysis, en process alla trilobiter genomgick ett flertal gånger under sin levnad. Trilobiterna var således effektiva skalproducenter, något som märks i det fossila arkivet. Letar man i sedimentära bergarter av rätt ålder, tex. kambriska eller ordoviciska avlagringar, hittar man ofta de olika skaldelar som trilobiterna lämnade efter sig. Man kan naturligtvis också hitta kompletta exemplar, även om detta är ganska sällsynt eftersom skalet lätt sprack upp efter trilobitens död. Cephalon ser ut som en enda stor plåt men utgjordes i själva verket av ett antal mindre plåtar, som satt ihop längs svaghetslinjer (suturer). Det var utefter dessa suturer som exoskelettet sprack upp när det var dags för trilobiten att ömsa skal (figur till höger). Cephalon består vanligen av tre delar (se figur nästa sida); två "lösa" kinder (librigenae) på var sin sida om den centrala delen av huvudet (cranidiet). Hos vissa arter bar kinderna bakåtriktade kindtaggar, stora eller

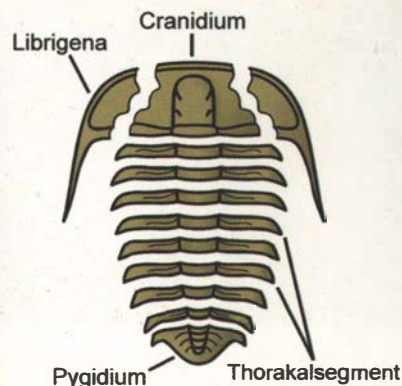
små (se t.ex. A och B i figuren på sidan 30), medan andra arter saknade sådana (se t.ex. C i figuren på sidan 30). Thorax bestod av många segment, medan pygidiets exoskelett utgjordes av en enda massiv plåt (se figur nästa sida).

Thorakalsegmenten, dvs. segmenten i thorax, var ledade mot varandra vilket innebar att de flesta trilobiter hade relativt god rörlighet, sitt hårda skal till trots. Rörligheten var så pass god att flertalet trilobiter kunde rulla ihop sig när fara annalkades (se foton sidan 26). De flexibla thorakalsegmenten möjliggjorde att pygidiet kunde föras tätt intill cephalat så att antenner, ben och mjukdelar omgärdades av det skyddande exoskelettet. Många trilobiter som var kapabla att rulla ihop sig hade ofta ett cephalon och pygidium av likvärdig storlek för maximal passform (se foto A sidan 26). Så är inte fallet



När trilobiten ömsade skal sprack det upp längs svaghetslinjer varpå den kunde krypa ut och bygga ett nytt, något större skal. Olika trilobiter hade förmodligen olika tekniker för att få loss det gamla skalet.

Trilobitens exoskelett är uppbyggt av flera mindre delar. När trilobiten ömsade skal eller efter det att den dog föll skaldelarna ofta isär. Det är därför man sällan hittar hela trilobiter.



hos alla trilobiter, *Calymene* (foto B och C sidan 26) har t.ex. ett betydligt mindre pygidium än cephalon och "stoppade in" pygidiet under cephalon vid hoprullning. För att förstärka effekten av hoprullning fanns på undersidan av huvudet och bakkroppen olika strukturer som fungerade som låsmekanismer. Många trilobiter var utrustade med taggar, inte bara på kinderna utan även på thorax och pygidiet. Taggarna gav skydd vid överraskande attacker och kunde spreta åt alla håll vid hoprullning. Det var med andra ord ett enkelt men sannerligen effektivt försvar.

Trilobiterna var utrustade med djurrikets kanske första synorgan. Precis som hos dagens insekter och krätdjur hade de fasettögon, dvs. ögon som byggs upp av ett stort antal delögon. Varje delöga har en lins och fungerar ungefär som ett separat öga (foto A på sidan 27). Trilobiternas ögon var enkla jämfört med våra egna, men utgjorde en viktig funktion för deras överlevnad. Människans ögon har en lins som genom att ändra form tillåter oss att fokusera objekt på olika avstånd. Trilobiternas lins var däremot massiv och rigid; förmodligen bestod den av kalcit vilket gjorde den orörlig. Trots detta kunde trilobiterna förmodligen fokusera med hjälp av inre ögonstrukturer som kompenserade de problem orörliga linser medförde. I själva verket anser man att trilobiternas syn var relativt god. De tidiga trilobiternas ögon var enkelt uppbyggda. Linserna satt tätt packade intill varandra och förmodligen kunde de endast registrera ljuskiftningar och rörelser i den närmsta omgivningen. Senare utvecklades hos trilobiterna ögon där varje lins fungerade som en separat enhet. Dessa ögon kan ha varit så pass avancerade att de gav trilobiten djupseende, så att de kunde göra avståndsbedömningar. Ögat sitter vanligen placerat mellan den fasta och den lösa kinden, i närheten av facialsuturen. De var ofta njurformade vilket gav ett brett synfält, både framåt,

bakåt och åt sidan. Precis som hos exoskelettet fanns det en stor variation i ögonens utseende eftersom trilobiterna var tvungna att anpassa sig till den miljö de levde i. En del trilobiter, främst fritt simmande former, hade mycket stora ögon som gav dem ett synfält på 360° medan andra med nästintill obefintliga ögon hade ett ytterst begränsat synfält. På en del trilobiter satt ögonen på skaft som hössniglar, och fungerade likt ett periskop när de vilade nergrävda i bottenmaterialet eller kröp omkring på ojämna bottnar (foto B sidan 27). Det var däremot långt ifrån alla trilobiter som hade förmåga att se omvärlden. Alla agnostider (förutom eodiscider; se nästa kapitel) och många andra trilobiter var blinda. Troligen levde dessa i mörker på mycket stort djup eller nere i bottenlammet där förmågan att se inte spelade någon roll. Det är mycket möjligt att blinda trilobiter hade andra organ som kunde registrera rörelser eller kemiska förändringar i vattnet.

Tack vare sin hårdhet kunde exoskelettet motstå biologisk och till en viss del även mekanisk nedbrytning efter trilobitens död, och på så sätt bevaras som fossil. Det är alltså bara skaldelarna från trilobiter vi hittar när vi är ute och letar fossil. Innanmätet och andra mjukdelar försvann troligtvis redan ett par veckor efter trilobitens död genom påverkan av asätare och bakteriell nedbrytning. Med tanke på hur mycket vi vet om trilobiternas hårda ryggside (dorsalsida) är det nästan skrämmande hur lite vi vet om buksidan (ventralsida). Förvisso var även extremiteterna bepansrade med ett yttre skal, men ett betydligt tunnare sådant. Det var därför endast under extremt gynnsamma förhållanden som dessa kunde bilda fossil, dvs. oftast i strängt syrefattiga miljöer där den bakteriella nedbrytningen gick långsamt. Extremiteterna är därför endast kända hos ett tjugotal av alla tusentals beskrivna trilobiter, och de bäst bevarade av dessa har man hittat i Sverige.



A. En hoprullad *Asaphus* från Ljungsbro i Östergötland, sedd från sidan (samling Peter Cederström). Notera den fina passformen mellan cephalon och pygidium, förstora 3 ggr. B. En hoprullad *Calymene* från Blåhäll på Gotland, sedd framifrån. Notera hur pygidiet stoppades in under cephalon för att inte blotta ömtåliga delar av undersidan, förstora 4 ggr. C. Samma exemplar från sidan, förstora 4 ggr.

Genom de få fynd av ventralsidan som har hittats vet man att trilobiterna var utrustade med en stor mängd ben, parvis placerade under varje thorakalsegment samt under cephalat och pygidiet. Varje ben (telopod) var dessutom utrustat med en yttre gren (exit), beklädd med små fransar. Exiterna tros ha haft flera funktioner, dels kan de ha fungerat som andningsorgan (gälar) samtidigt som de kunde användas som propelleringsorgan vid simning. Strikt bottenlevande arter kunde, förutom syresättning av blodet, även använt exiterna för att söka igenom botten slammet på jakt efter föda. En orsak till att många forskare tror att exiterna fungerade som andningsorgan är att trilobiternas närmsta nu levande släktingar, dolksvansarna (foto nedtill nästa sida), har gälbärande extremiteter på bakkroppen.

Klassificering av trilobiter

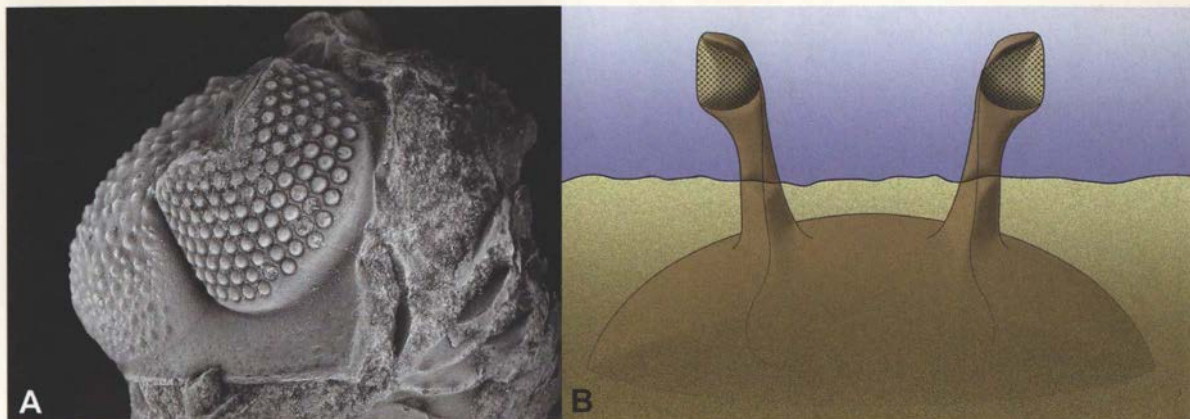
Fylum (stammen) Arthropoda är en av de mest framgångsrika djurgrupperna i jordens historia, men så omfattar den djur som insekter, spindlar, skorpioner, tusenfotingar, räkor, kräftor, krabbor samt andra djur med ledade extremiteter. Figuren på sidan 28 visar schematiskt arthropodernas systematik, inklusive den i skrivande stund vanligaste uppdelningen av trilobiterna i nio ordningar. De första arthropoderna, det vill säga inte bara trilobiter utan även merostomer och föregångare till kräftdjuren, var begränsade till ett liv i havet. Genom årmiljonerna har arthropoderna sedan anpassat sig till i stort sett alla tänkbara miljöer och finns idag representerade överallt, i såväl vatten som i luft och på land. Klassen Trilobita kan indelas i en uppsjö av familjer, släkten och arter vilkas systematiska ställning är ständiga mål för diskussioner. Det är råder nämligen

stora oklarheter kring trilobiternas systematik. Exempelvis anser vissa forskare att ordningen Olenellida ska vara en underordning inom Redlichiida, och att ordningen Agnostida över huvud taget inte ska räknas som trilobiter utan istället som en släkting till dagens kräftdjur.

Ordningen Agnostida indelas ofta i två underordningar; Agnostina och Eodiscina. Agnostider är blinda, har två thorakalsegment och saknar facialsutur (foto A på sidan 29). Eodiscider är trilobiter med eller utan ögon och facialsutur, samt 2–3 thorakalsegment (foto B på sidan 29). Gemensamt för de båda är den ringa storleken, vilken sällan överstiger en centimeter i längd. Att agnostiderna enligt vissa klassificeras som kräftdjurslika framför trilobiter baseras främst på fantastiskt välbevarade exemplar, framtagna genom upplösning av kambriska kalkstenar från Västergötland. Dessa fossil visar att agnostidernas extremiteter är mycket lika de hos nulevande kräftdjur, och att de saknar de för trilobiterna karakteristiska exiterna. Andra forskare menar däremot att agnostiderna ska behålla sin traditionsenliga systematiska placering (se figur på sidan 28), eftersom de i likhet med trilobiterna har cephalon, thorax och pygidium samt två pleurallober och en mittlob.

Trilobiter och forskning

Trilobiter är inte bara fascinerande på grund av sin funktion och vackra form, de är också användbara för en rad olika forskningsområden inom geologi och paleontologi, främst kanske biostratigrafi. Biostratigrafi är ett verktyg för att göra relativa åldersbestämningar och skiljer sig således från absoluta dateringar, där man med hjälp av radioaktiva isotoper kan få fram en mer



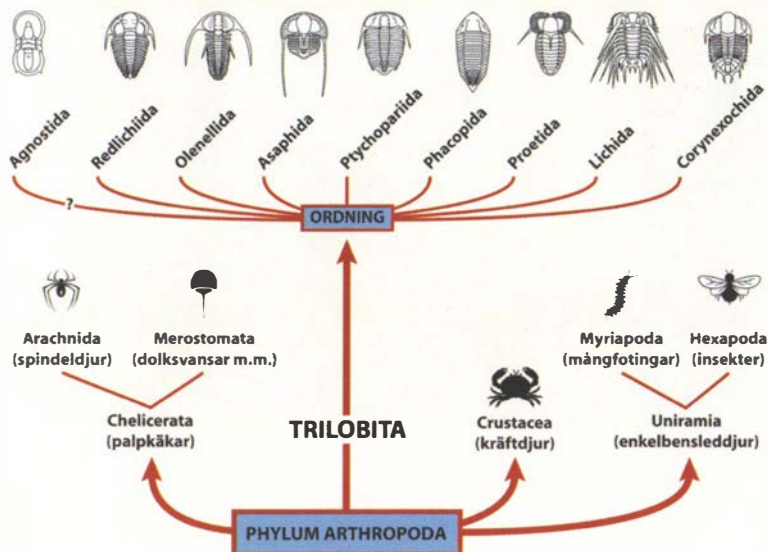
Trilobiterna hade ofta välutvecklade ögon. A. Ett fasettöga hos trilobiten *Phacops* sett från sidan, förstora 6 ggr. B. Vissa trilobiter som denna *Asaphus*, sedd framifrån, hade bildligt talat ögonen på skaft och kunde ligga skyddad i botten slammet samtidigt som den registrerade förändringar i omgivningen.

eller mindre exakt ålder hos låt säga, en bit ben eller en bergart. Biostratigrafi bygger på att dokumentera förekomst av fossil i en lagerföljd. Med hjälp av fossilen (både vad avser olika arter samt deras mängd) kan man dela in lagerföljden i olika enheter, så kallade biozoner. Generellt kan sägas att en biozon uppvisar ett fossil-innehåll som skiljer sig från under- och överliggande zoner. Biozonerna i den studerade lagerföljden kan därefter jämföras med andra fossilförekomster jorden över. Hittar man samma arter på olika platser runt om i världen kan man anta att lagerföljderna vid de olika lokalerna bildades ungefärsamtidigt. På så sätt kan man påvisa relativ ålder med hjälp av fossil, trots att lagren man hittar dem i kan variera stort i mäktighet och utseende. Ofta har varje biozon ett namn, uppkallat efter ett inom zonen vanligt förekommande eller karakteristiskt fossil. Detta fossil kallas ledfossil och för att kunna klassas som ett sådant ställs det vissa krav. Fossiliet ska helst finnas i rikliga mängder och ha en vid geografisk spridning, det ska inte vara faciesbundet (man ska kunna hitta det i olika typer av sedimentära bergarter), ha en snabb evolutionär utveckling (hittas inom ett så kort tidsintervall som möjligt) och vara lätt att identifiera (även om man endast hittar delar av det). Många trilobiter uppnår ofta dessa krav. De har ett karakteristiskt utseende vilket gör dem lätta att identifiera och de flesta arter levde under en kort tid, sett ur ett geologiskt tidsperspektiv. Vissa trilobiter var pelagiska, dvs. de simmade fritt i vattenrymden. Detta medförde att de inte var knutna till en viss bottenmiljö utan kunde röra sig mer eller mindre fritt i haven, och på så sätt spridas över stora områden. En vid geografisk

spridning behöver däremot inte betyda att organismen var pelagisk; det fanns många bottenlevande arter vilka man idag hittar på platser som förr låg långt från varandra. Dessa bottenlevande trilobiter måste därför på något sätt kunnat korsa oceaner. Förklaringen till



Dolksvansen (*Limulus polyphemus*) är en nu levande släkting till trilobiterna, förminskad 4 ggr.



Generaliserad illustration över Fylum Arthropoda (leddjur) och trilobiternas traditionella systematiska indelning i nio ordningar. För varje ordning visas ett exempel av en art inom densamma.

detta ligger troligtvis i trilobiternas tillväxt (ontogeni). Alla trilobiter genomgick olika tillväxtfaser under sin uppväxt och som barn (juveniler) var de så små att man tror de ibland kunde transporteras hundratals mil med hjälp av vattenströmmar. Vissa trilobiter kunde alltså födas längs med kusten på en kontinent, transporteras över haven via strömmar som juveniler för att kanske slutligen etablera sig och växa upp på botten vid en annan kontinent.

Trilobiter kan inte bara användas för att göra relativa åldersbestämningar av sedimentära bergarter, de är även viktiga indikatorer för den miljö de levde i. Eftersom vi endast har fossil av trilobiter går det naturligtvis inte med säkerhet att säga hur de levde, men genom att studera deras utseende kan man uttröna mycket om deras levnadssätt. Under kambrium och ordovicium var trilobiterna vanliga i haven och erövrade många nischer; de kröp omkring på botten i såväl grunda som djupa hav där de grävde efter föda i bottenmaterialet, eller simmade fritt i vattenrymden. Pelagiska trilobiter hade ett hydrodynamiskt format och tunt exoskelett för att smidigt och snabbt kunna simma på jakt efter föda. Dessa trilobiter var generellt utrustade med stora ögon som gav dem ett extra brett synfält (A i figuren på sidan 30). Majoriteten av trilobiterna anses däremot ha levt på botten (B i figuren på sidan 30). Sådana trilobiter har ibland långa taggar som dels skyddade dem från fiender, dels förhindrade att de sjönk ner i mjukbotten. De trilobiter som grävde gångar i botten saknade ofta taggar och hade istället ett tjockt och strömlinjeformat skal som kan vara slätt eller försett med strukturer som underlättade grävförmågan (C i figuren på sidan 30). Bottenlevande trilobiter lämnade naturligtvis spår efter sig. Spåren, som helt enkelt kallas

spårfossil, har avslöjat att vissa trilobiter kröp på bottenytan för att aktivt söka föda, medan andra helt eller delvis grävde ner sig för skydd eller i väntan på ett potentiellt byte. En del trilobiter tros ha levt på små näringspartiklar i eller på botten medan andra var rovdjur, något som de kraftiga käkar vissa former hade på undersidan av cephalon vittnar om.

Trilobiter och människan

Det är inte bara under modern tid som människan har fascinerats av trilobiter. I Arcy-sur-Cure, Frankrike, har man i ett jordlager hittat 15000 år gamla efterlämningar från bosättare. Bland fynden fanns en silurisk trilobit som kanske användes i ett halsband, eftersom den är genomborrad med ett hål. Det intressanta med trilobiten är att den inte är känd från dagens Frankrike utan måste ha hittats utanför landets gränser. Ett annat exempel är indianstammen Pahvant Ute i Utah, USA. De utsmuckade sina halsband med den mellankambriska trilobiten *Elrathia kingii*. Trilobiterna sades skydda mot sjukdomar och minska risken att bli skjuten. Hur många indianers liv trilobiter kan ha räddat går naturligtvis inte att säga, men förmodligen är det inte många.

I Carmarthen, södra Wales, är pygidier från trilobiter så vanliga och iögonfallande och man trodde förr att de var förstenade fjärilar, skapade genom besvärjelser av trollkarlen Merlin. Detta ledde till att samme trollkarl har fått ge namn till trilobitsläktet *Merlinia*. Även i andra delar av världen har man förväxlat pygidier med fjärilar. I Kina finns motsvarigheten hu-die-shih och vissa läsare känner kanske igen ordet fjärilssten som syftar till cephalo och pygidia från de ordoviciska trilobiterna *Eobronteus* och *Platylchas*. Vi svenskar nöjde oss inte

med det utan kallade till och med stora pygidier från trilobiten *Asaphus* för flundror.

En annan i England vanligt förekommande trilobit är *Calymene* (foto på sidorna 22 och 26). Under 1700- och 1800-talet fanns det en mängd kalkstensbrott omkring staden Dudley i Wales, där fantastiska exemplar av *Calymene* påträffades. På grund av fossilens höga kvalitet och rika förekomst gästades Dudley ofta av framstående forskare. *Calymene* blev så populär att den till och med fick en central plats i Dudleys vapensköld, som på senare tid tyvärr har ersatts med en utan trilobit. Lokalt kallar man den fortfarande för Dudleyinsekten eller Dudleygräshoppan.

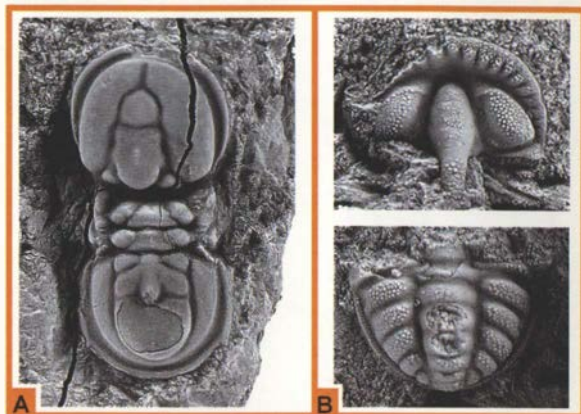
Det verkar som om trilobiter ökar i popularitet för varje år. Med internets framfart under det senaste årtiondet har handeln med fossil ökat lavinartat. Man kan idag köpa nästintill vilken trilobitart som helst över internet, det är till och med inga större problem att få tag på exemplar med bevarade extremiteter såvida du är villig att betala drygt 10 000 kr. Pågående forskning kan naturligtvis bli lidande om extremt ovanliga och välbevarade arter säljs istället för att noggrant studeras. Detta ska inte förknippas med harmlös hobbyverksamhet. Privata samlare och fossilintresserade har ofta en mycket god kunskap om för forskningen viktiga trilobiter, och många för ett nära samarbete med forskare.

Svenska trilobiter

Vi svenskar kan verkligen skatta oss lyckliga. Då tänker jag inte på vår höga levnadsstandard utan på den rika förekomsten av trilobiter i vårt land. I Sverige kan man hitta trilobiter från sydöstra Skåne till nordligaste Lappland. Men varje medalj har sin baksida. I Sverige saknas avlagringar från perioderna devon, karbon och perm, så vi svenskar får nöja oss med de trilobiter som levde någon gång under tiden kambrium–silur (ca 542–416 miljoner år sedan). Avsaknaden av dessa perioder är emellertid inget vi ska vara alltför ledsna över. I många länder, tex. i Danmark (Bornholm undantaget) och i Finland lyser trilobiterna med sin frånvaro.

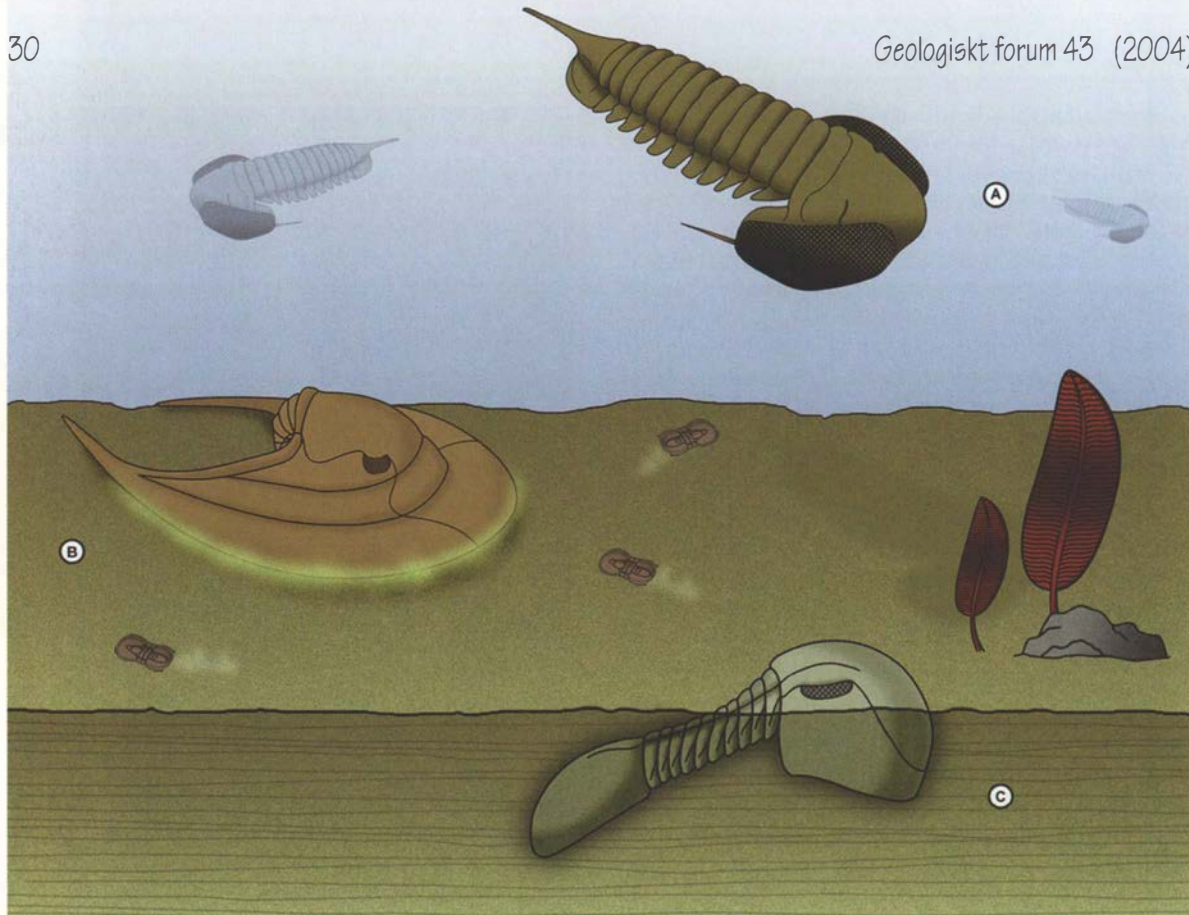
Våra kambro-siluriska fossillokaler är många, allt från diken och vägsränningar till nerlagda såväl som aktiva stenbrott. I Skåne, Västergötland och Gotland finns många lokaler som innehåller rikligt med välbevarade fossil och därför är kända över hela världen. Även andra områden som Jämtland, Siljansringen, Närke, Östergötland och Öland har rikliga förekomster av trilobiter och en mängd andra fossilgrupper.

Kambriska bergarter finns representerade i alla ovan nämnda områden förutom Siljansringen, och utgörs främst av lerskiffer av varierande karaktär, varvade med horisonter av kalksten. Skiffern avsattes på större vattendjup medan kalkstenslagren i regel motsvarar perioder av havsytessänkningar. Anmärkningsvärd i



A. *Agnostus obesus* (från Kinnekulle, Västergötland) var som alla agnostider blind och hade bara två thorakalsegment, förstora 8 ggr. B. *Dawsonia oelandica* (från Mon i Jämtland) är en blind eodiscid med ett okänt antal thorakalsegment. Den övre bilden visar cephalat och den undre pygidiet, förstora 7 ggr.

Sverige är den artrika och varierade fauna som finns representerad i mellankambriska avlagringar. Denna ersätts i överkambrium av en betydligt magrare fauna bestående av endast ett fåtal arter. I underkambrium är fossil relativt ovanliga och trilobiter är endast representerade av ett fåtal arter och i form av grävspår. Den i Västergötland och Skåne vanliga alunskiffern (foto sidan 31) har studerats intensivt under drygt 300 år och utgör en viktig punkt på den geologiska världskartan. Alunskiffern har fått sitt namn efter alun, ett salt som förr utvanns genom bränning och lakning av skiffern och därefter användes för bland annat garvning av läder, vid färgning av garn och som blodstillande medel. Under 1700-talet och första halvan av 1800-talet var brytningen av alunskiffer en storskalig industri som resulterade i en mängd stenbrott runtom i Sverige. Mest omfattande var kanske brytningen vid Andrarum i Skåne och på Kinnekulle i Västergötland. Skiffern är svart på grund av sin höga halt av organiskt material, och bildades under syrefattiga förhållanden i kambrium och början av ordovicium. Karakteristiska kalkstensbollar (se foto sidan 31), även kallade orstenar, som ligger insprängda i skiffern innehåller ofta extremt välbevarade fossil. Orstenarna bildades efter att det skifferbildande materialet avsatts på havsbotten, kanske genom upplösning och utfällning av karbonater i det ursprungliga sedimentet. Det är tack vare dessa orstenar man kunnat studera antenner, ben och övriga strukturer hos agnostiderna.



Rekonstruktion av trilobiternas tre huvudsakliga livsmiljöer (notera att den inbördes skalan mellan trilobiterna är överdriven och att de inte levde under samma tid). På botten rör sig små agnostider av släktet *Peronopsis*. A. *Opipeuter*, en pelagisk trilobit med extremt stora ögon och strömlinjeformad kropp. B. *Harpes* hade imponerande kindtaggar och levde ovanpå botten där den kanske filtrerade sediment på jakt efter föda. C. *Iliaenus* levde troligen nergrävd i bottenlammet och kanske tittade huvudet fram som på bilden då den spanade efter föda eller fiender.

Trilobitförande bergarter av ordovicisk ålder finns i alla ovannämnda områden utom på Gotland. Bergarterna utgörs främst av kalkstenar och slamstenar. På Öland består i stort sett hela ytberggrunden av ordovicisk kalksten och i Västergötland finns det en mängd kalkstensbrott (de flesta sedan länge nerlagda), t.ex. vid Hällekis på Kinnekulle. Dessa kalkstenar innehåller ofta rikligt med trilobiter och andra fossil. Till skillnad från Öland utgörs Gotlands berggrund huvudsakligen av kalkstenar avsatta i ett tropiskt hav under silur. I dessa kalkstenar finns olika välbevarade trilobiter och många av dem är hela. Det finns alltså många spännande utflyktsmål för den som är intresserad av att leta efter trilobiter i Sverige.

Rikets uppgång och fall

Trilobiterna hade onekligen sin storhetstid under kambrium och ordovicium (542–444 miljoner år sedan) men därefter hämmades deras utveckling av ständiga motgångar. Efter ordovicium uppstod endast tre nya familjer och i mitten av perm fanns endast ett fåtal av de ca 5000 kända trilobitsläktena. Studier har visat att redan under trilobiternas tidiga utveckling i början av kambrium påverkades de starkt av förändrade miljöfaktorer som temperatur, salthalt, vattendjup och sedimenttyp.

Den första motgången skedde redan i slutet av kambrium. Då försvann många av de ospecialiserade överkambriska arterna, kanske för att de inte kunde anpassa sig till omfattande havsytesänkningar.

Dessutom uppkom en ny fiende, bläckfiskarna (cephalopoderna), vilka kan ha bidragit till trilobiternas kris vid övergången från kambrium till ordovicium.

Först i ordoviciums inledningsskede sker det en ordentlig utveckling av specialiserade trilobiter som kunde rulla ihop sig, gräva ner sig eller som var utrustade med en mängd taggar och avancerade ögon. Sådana anpassningar skedde huvudsakligen endast inom ett fåtal familjer och generellt minskade trilobiternas mångformighet under ordovicium. I likhet med många andra organismer var det få trilobiter som överlevde den hastiga istid som drabbade jorden i slutet av ordovicium. Istiden inträffade i två faser men redan den första resulterade i ett bittert slut för 50% av alla trilobitsläkten. Efter den andra fasen hade en dryg femtedel av alla djurfamiljer dött! Resultatet var ett av jordens största massutdöenden. Även om trilobiterna drabbades hårt gav de inte upp utan kämpade vidare under silur och devon (444–360 miljoner år), svårt sargade efter det stora utdöendet i slutet av ordovicium.

Trots sina tappra överlevnadsförsök skulle trilobiterna till sist dö ut. Massutdöendet i slutet av perm, ca 251 miljoner år sedan, är den största biologiska kris som har drabbat jorden och uppskattningsvis försvann 90% av alla djur- och växtarter, både på land och i hav. Vissa djurgrupper som armfotingar (brachiopoder) och sjöljur (crinoider) överlevde med blotta förskräckelsen, medan andra grupper som ammoniter (en grupp utdöda bläckfiskar) och echinodermer (tagghudingar, t.ex. sjöborrar) passade på att ta över de nischer som tidigare dominerades av andra organismer. Andra var inte lika lyckligt lottade, t.ex. vissa koraller samt våra älskade trilobiter.

Orsakerna till massutdöendet i slutet av perm är mycket omdiskuterat. Det finns ingen given orsak till denna katastrof, men väl en mängd olika teorier. Flera av jordens tidigare marina utdöenden kan vara orsakade av havsytesänkning (regressioner) vilka blottade stora grundvattensområden så att bottenlevande faunor dog ut. Så verkar inte vara fallet i slutet av perm eftersom lagerföljderna snarare tyder på en generell transgression, det vill säga en höjning av havsytan. I stället tror forskare att det är faktorer som syrebrist, en minskning av primärproduktionen och förändringar i atmosfärens sammansättning på grund av ökad vulkanisk aktivitet som kan ligga bakom utdöendet. Troligen var det en kombination av flera orsaker som orsakade detta massutdöende.

Vad som än må ha orsakat katastrofen kvarstår det faktum att perioden trias inleds under avsaknad av trilobiter. Deras rike varade i nästan 300 miljoner år, till skillnad från romarnas fuktiga ca 600 år. Trots att trilobiterna varit döda under hundratals miljoner år kan man räkna deras levnadshistoria som en ypperlig succé, långt mer framgångsrik än vår egen. Lyckligtvis har de bevarats som fossil åt eftervärlden till alla paleonto-



I den svarta alunskiffern med insprängda orstenar (rostbruna) finns ofta rikligt med välbevarade trilobiter och andra arthropoder från kambrium. Bilden är tagen i ett nerlagt stenbrott i Gudhem, Västergötland. Foto Fredrik Terfelt.

logers glädje, eller som Stephen J. Gould så fint uttryckte det: "Varje nation har sin flagga. Varje universitet sitt motto. Paleontologi har sina trilobiter".

Bakgrundslitteratur

- Bassett, M.G., 1982: 'Formed Stones', folklore and fossils. *National Museum of Wales* 1, 32 s.
- Bergström, J., 1973: Organization, life, and systematics of trilobites. *Fossils and Strata* 2, 1–69.
- Bergström, J., 1992: The oldest arthropods and the origin of the Crustacea. *Acta Zoologica* 73, 287–291.
- Briggs, D.E.G. & Crowther, P.R., (red.) 1993: *Palaeobiology II*. Blackwell Science. 583 s.
- Boardman, R.S., Cheetham, A.S. & Rowell, A.J., (red.) 1987: *Fossil Invertebrates*. Blackwell Scientific Publications. 713 s.
- Clarkson, E.N.K., 1998: *Invertebrate Palaeontology and Evolution*, 4th edition. Blackwell Science. 452 s.
- Kaesler, R.L., (red.) 1997: *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part O, Arthropoda 1, Trilobita, Revised*. Geological Society of America and University of Kansas. Boulder, Colorado, and Lawrence, Kansas. 530 s.
- Levi-Setti, R., 1993: *Trilobites*, 2nd edition. University of Chicago Press, Chicago. 342 s.
- Whittington, H.R., 1992. *Trilobites. Fossils Illustrated: 2*. Boydell Press, Woodbridge. 145 s.

Niklas Axheimer är doktorand på Geologiska institutionen vid Lunds universitet;
Niklas.Axheimer@geol.lu.se.

Skandinaviens största katastrof – eller en gåva från ovan?

De geologiska processerna är till största delen långsamma processer som vi knappast lägger märke till. Stora jordbävningar och vulkanutbrott är de synliga delar av dessa normala processer. Riktigt stora katastrofer, så stora att de kan påverka allt liv på jorden, orsakas av meteoriter som slår ned. I artikeln berättas om den största smällen Skandinavien råkat ut för under de sista tusen miljoner åren.

Utsikt över Siljan norrut mot Rättvik. Till vänster i bilden ser man centralkupolen och till höger höjer sig kraterkanten. Rättvik med kyrkan i mitten av bilden ligger i dalsänken som bildas av den nedförfästade paleozoiska berggrunden.

AV ILKA VON DALWIGK

Vem har inte tittat upp en klar och mörk natt och med stum beundran bevittnat ett stjärnfall? Ett stjärnfall uppstår när sandkornsstora meteoriter träffar jordens atmosfär och förgasas.

Men vad skulle hända om meteoriten låg i kollision med jorden och vore flera hundra meter i diameter – eller ännu större?

Turlig nog har den moderna människan inte utsatts för svaret på denna fråga. Men under devon, för knappt 400 miljoner år sedan, rådde Sverige befinna sig i medelpunkten för detta scenario.

Siljansringen är en av världens största nedslagsstrukturer. Det här ärret, som är minst 65 km i diameter, tillfogades den svenska berggrunden för ca 370 Ma sedan av en ungefär 4 km stor meteorit som träffade jorden med en hastighet av flera kilometer i sekunden.

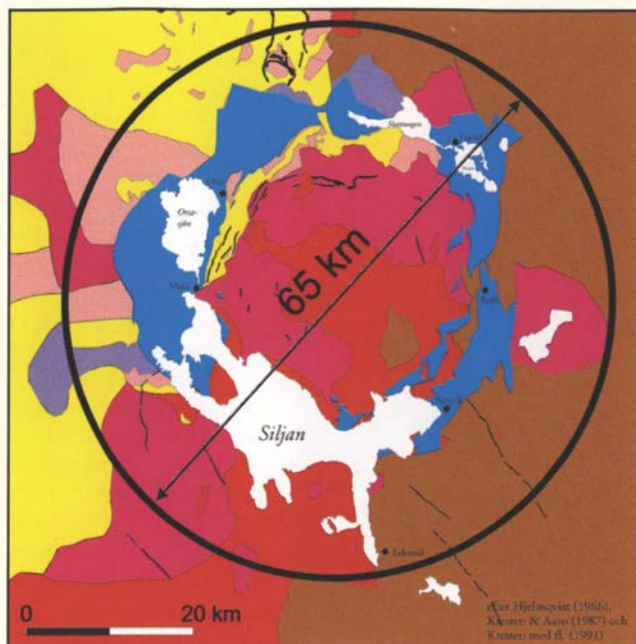
Än idag syns kraterformen tydligt i landskapet, både i den geologiska bilden (se kartan till höger) och i topo-

grafin, fastän den har utsatts för kraftig erosion av bl.a. inlandsisen. Fanerozoiska sedimentbergarter (ordovicium till silur) bildar ett ringformigt lågland i den prekambrika berggrunden. Mitt i ringstrukturen utgör en kupol av uppsprucket urberg en tydlig topografisk höjd. Även de fyra sjöarna Siljan, Orsasjön, Skattungens och Oresjön följer ringstrukturens form (se fotot ovan).

Skandinavien under devon

Devontiden var en spännande period på jorden. Flera stora händelser ägde rum under devon. De första landlevande ryggradsdjuren hade precis skakat av sig vattnet, när de för första gången koloniserade det torra landet och lämnade havet bakom sig. Växtligheten på land utvecklades och skogar av ormbunkar och fräkenväxter beboddes av insekter och spindeldjur. Men mest känd är devon ändå som fiskarnas tidsålder.

Geologisk karta över Siljansstrukturen. Bådedet geologiska mönstret och topografin samt sjöarnas fördelning avslöjar än idag kraterstrukturen som bildades för nästan 400 miljoner år sedan!



Haven formligen kryllade av liv. Olika sorters pansarhajar simmade genom oceanerna på jakt efter näring, välskyddade av sina benpansar. Ortoceratiterna, de raka bläckfiskarna, efterträddes av en bläckfiskgrupp med hoprullade skal, ammoniter. Denna nya grupp av blötdjur var vanlig i de flesta hav. I varma grundhav bildades det mäktiga rev som befolkades av koraller, armfotingar och sjöliljor.

Skandinavien befann sig på södra halvklotet och en stor ocean som låg mellan Skandinavien och nutidens Nordamerika, Japetushavet, var på väg att försvinna. När dessa två kontinenter kolliderade blev resultatet en bergskedja, som av människan kom att döpas till Kaledoniderna. En liknande händelse ägde rum i dagens Centraleuropa. Den rheiska oceanen försvann sakteligen och den variskiska bergskedjan bildades (se karta nästa sida). Resultatet av dessa bergskedjebildningar som skedde på bekostnad av oceanerna var bildningen av den s.k. superkontinenten Pangea. Bergskedjorna bröts ner och erosionsmaterialet avsattes som sand och grus över stora delar av Europa. Detta ökenliknande sandtäckt landskap kallades för Old Red Sandstone-kontinenten.

Även dåtida Sverige måste ha sett ut på det sättet. I väster tornade Kaledoniderna upp sig – medan öster om denna utsträckt sig ett oändligt stort sandhav, bara ett antal floder bröt landskapets monoton.

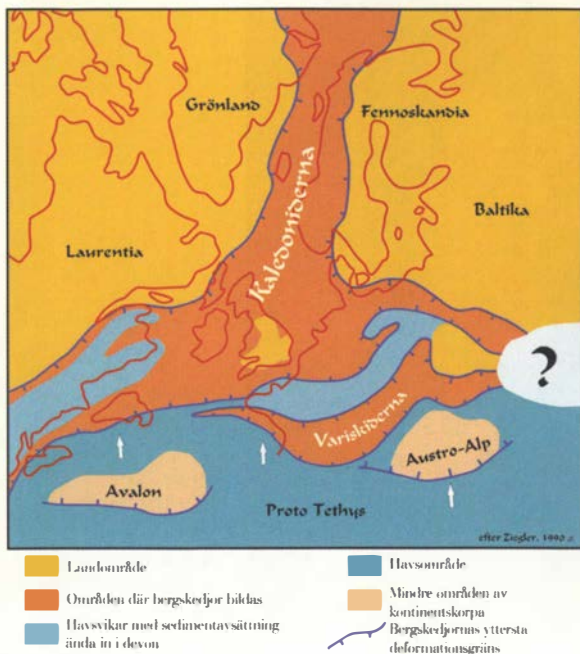
Men något stort och omvälvande höll på att hända som skulle bryta enformigheten. Någonstans ute i världsrymden var en stenbumling på väg mot jorden.

Dess bana skulle korsa jordens bana och nedslaget skulle få långtgående konsekvenser som fortfarande påverkar oss idag.

Massutdöenden

Några forskare förespråkar meteoritnedslag som främsta orsak för massutdöenden på jorden. Med massutdöende menar man att stort antal djur och växter dör ut under en kort tidsperiod. Livet har varit med om flera massutdöenden (se figur på sidan 35) men alltid återhämtat sig, och nya arter har kunnat utvecklas. Ett av de mest uppmärksammas massutdöendena ägde rum vid övergången mellan krita- och tertiärperioderna. Uppskattningsvis 75% av alla arter som levde under perioden krita försvann för alltid från jordens yta, däribland dinosaurierna. Orsaken till dinosauriernas utdöende är fortfarande ett hett debatterat ämne inom forskarvärlden. En stor meteoritkrater – Chicxulub, med ca. 200 km i diameter utanför Mexikos kust, har åldersbestämts till 65 miljoner år – exakt samma ålder som massutdöendet hade. Många forskare anser det därmed bevisat att meteoritnedslaget var en av orsakerna till massutdöendet – även om andra storskaliga geologiska processer kan ha medverkat.

Stora utdöenden ägde rum även under slutet av devon. De flesta djurgrupper drabbades hårt. Massutdöendet är ett av de största i jordens och livets historia, dock inte alls lika känt och omtvistat som utdöendet vid krita–tertiär-gränsen. Någon stor krater av exakt samma



Ungefärlig fördelning av land- och havsområden under devon.

ålder som detta massutdöende är inte heller känd. Då och då nämns nedslaget i Siljan som orsak till massutdöende i yngre devon, men några konkreta bevis har inte hittats.

Nedslaget – en krater blir till

Siljansringens tillkomst, från nedslagsögonblicket till dess nuvarande form, kan indelas i olika faser, vilka även gäller vid bildandet av andra meteoritkratrar på land. Gemensamt för alla meteoritnedslag när större himlakroppar träffar en planet, är att händelseförloppet är mycket våldsamt och kort. Även om nedslagskratrarna oftast är flera kilometer i diameter så bildas dessa på mycket kort tid – oftast förflyter inte många sekunder till minuter från det att himlakroppen tränger in i atmosfären och tills ett stort hål har fläktats upp i berggrunden.

Genom att de objekt som träffar jorden har så höga hastigheter kommer enorma mängder energi att frigöras vid nedslagen, vilket resulterar i en explosion på nedslagsplatsen.

Den första fasen (kontakt och sammanpressningsfasen i figuren på sidan 36) är själva nedslaget. Himlakroppen träffar jorden med en nedslagshastighet på 10–70 km/sek, beroende på om den hinner ikapp jorden eller kolliderar med dess omloppsbana.

Hastigheten är så pass hög i bägge fallen att stora meteoriter knappt självhinner uppfatta att det finns ett hinder i vägen – nämligen i vårt fall jorden. Är meteoriten tillräcklig stor (100 meter eller större) så bjuder atmosfären på nästan inget motstånd alls och meteoriten hinner tränga in i jordskorpan en liten bit innan dess framfart bromsas upp. Meteoritens enorma rörelseenergi omvandlas till värme och meteoriten förgasas tillsammans med delar av målberggrunden i en stor explosion.

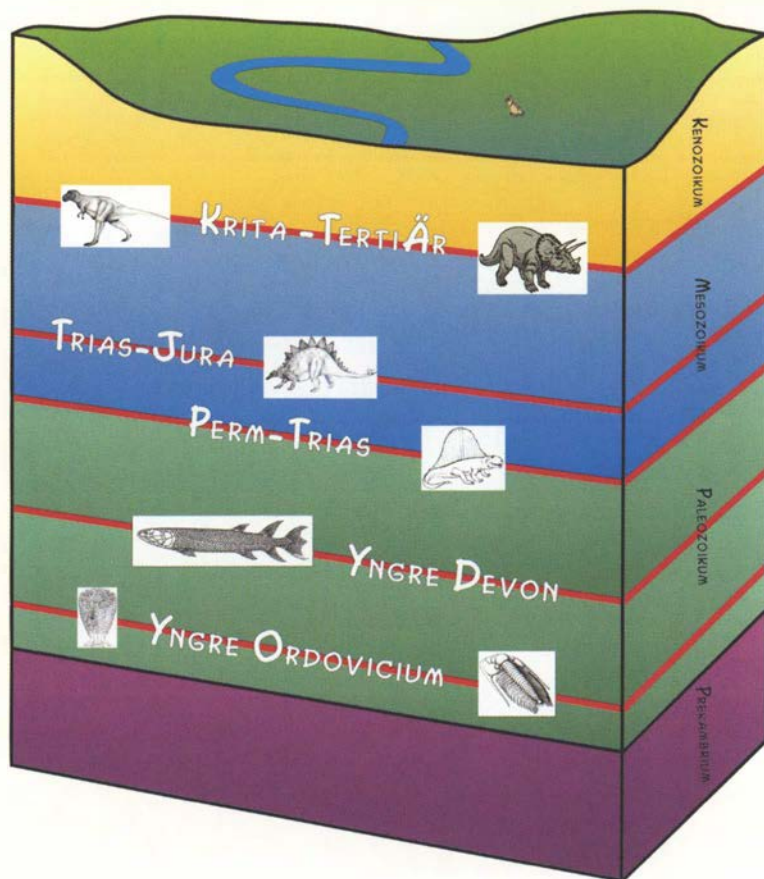
Vid inträngningen i marken och den efterföljande explosionen uppnås temperaturer på 10 000°C och tryck som ligger på några 100 gigapascal. Dessa tryck och temperaturer överstiger vida alla kända geologiska händelser vi annars känner till på Jorden, exempelvis våldsamma vulkanutbrott. Explosionen är orsaken till att meteoritkratrar är mer eller mindre runda och inte avlånga eller elliptiska. Innan man upptäckte detta faktum hade människor svårt att acceptera teorin om att cirkelrunda kratrar kan bero på att planeter träffades av himlakroppar.

Att själva projektilen förgasas är en av orsakerna till att man inte hittar delar av meteoriten i eller under en meteoritkrater. Oftast efterlämnar himlakroppen bara ett kemiskt fingeravtryck när mineral som är ovanliga på jorden men vanliga i de nedstörtade himlakropparna, koncentreras och blandas i mätbara mängder i den uppsmälta berggrunden. När geologerna sedan undersöker den stelnade nedslagssmältan kan man i vissa fall avgöra om det exempelvis har varit en järnmeteorit som kolliderade med jorden. Men i flertal av kratrarna har man inte lyckats identifiera 'boven i dramat'.

Under nästa fas (urgröpningsfasen i figuren på sidan 36) skickas det förgasade materialet, följd av smält och krossad berggrund, uppåt. Materialet sprids över stora områden runt själva nedslagsplatsen; vid större nedslag sker en utblåsning genom atmosfären och materialet sprids då över hela jordytan. En snabbt expanderande chockvåg (kompressionsvåg) sprider sig från explosionspunkten neråt och utåt. Chockvågen, som komprimerar berget, åtföljs av en tånjande våg (tensionsvåg). Denna våg, vars kraft är den motsatta kraften av chockvågen, gröper ur marken och kratern börjar växa. Berget smälter i chockvågens front. En ridå av uppsmält och utkastat material sprider sig med oerhörd hastighet i alla riktningar. När chockvågen övergår i en elastisk tryckvåg slutar kratern att växa. En instabil övergångskrater uppstår och en kratervall har bildats. Djupet är cirka en fjärdedel av diametern. Det utkastade materialet som hade kastats upp i luften följer gravitationens lagar och faller tillbaka till marken. En blandning av olika bergartsfragment och smälta bergarter faller tillbaka i den nybildade kratern och täcker även ett stort område utanför den.

Under den sista fasen (modifieringsfasen i figuren på nästa sida) kollapsar övergångskratern på grund av

Livet på jorden har drabbats av flera stora massutdöenden – de mest omfattande är här markerade med en röd linje i den geologiska kolumnen. Under tidigt ordovicium drabbades många ryggradslösa djur. Många vattenlevande organismer, såsom pansarhajar, dog ut under massutdöendet i slutet av devon. Massutdöendet i perm innebar slutet för många amfibier och tidiga reptiler som Dimetrodon. Några dinosaurier, som Stegosaurus, försvann redan i trias, medan det stora massutdöendet vid krita–tertiärgränsen ledde till att dinosaurierna slutligen dog ut. Detta massutdöende är det enda där ett samband med ett stort samtida meteoritnedslag har kunnat påvisas.



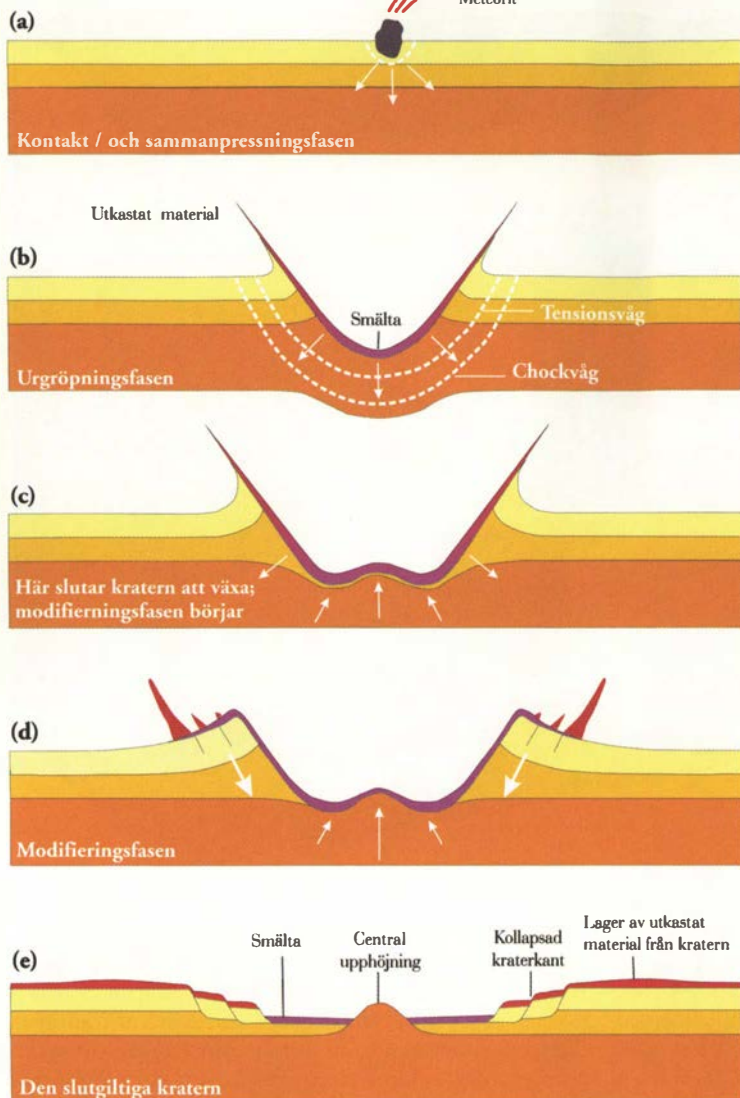
gravitationen och intar sin slutliga form. Denna kommer att varieras beroende på kraterns storlek. Vid en diameter på mindre än 4 km blir den slutgiltiga formen ungefär som övergångskratern och man får en enkel krater. Vid en diameter större än 4 km kommer en central upphöjning att bildas när underlaget pressas tillbaka i en sorts rekylrörelse medan kraterns yttre delar förskjuts nedåt i ringformiga förkastningar (se formen på den slutgiltiga kratern i i figuren på nästa sida). Vid ännu större nedslag kollapsar i sin tur den centrala upphöjningen och ett koncentrisk ringmönster uppstår, vilket var fallet för Siljansstrukturen.

Bildningen av en krater i samma storleksordning som Siljan tog med all sannolikhet mindre tid än det tog tid för dig att läsa det här avsnittet!

Inom loppet av några få minuter var ett helt landskap förändrat för alltid; och det innefattar inte bara kratern, som är det synliga beviset för den här katastrofen! Ett stort område runt Siljanskratern var täckt av glödhet material som hade kastats ut från kratern och släckt all liv som må ha funnits i området före nedslaget. Hade man varit en liten devonsk spindel hade det varit bra och spinna sina nät på andra platser än Sverige om man hade velat överleva denna katastrof

av himmelska mått... Men även för organismer som hade undkommit dem uppenbara effekterna av själva nedslaget väntade antagligen några svåra år framöver. Själva dammet som hade slungats upp i atmosfären och som stannade kvar däruppe för en tid fungerade nämligen som ett lock mot solstrålningen – solstrålarna kunde inte längre nå jordytan lika obehindrat som förr, vilket ledde till en avkylning av hela planeten. Denna klimatförändring kan ha påverkat växtligheten negativt och på så sätt även skadat djurlivet i det långa loppet. Resultatet skulle bli ett massutdöende. Men om det här skräckscenariot verkligen inträffade på grund av nedslaget i Siljan vet vi inte med säkerhet.

Hur det nu än var med massutdöendet så sker den sista fasen i Siljansringens utveckling under betydligt lugnare förhållanden. Under de årmiljoner som förflöt sedan meteoritnedslaget inträffade har nedbrytande krafter åstadkommit stora förändringar av områdets topografi. Uppskattningsvis har minst en kilometer av berggrunden nöts bort. Det innebär att nästan hela den ursprungliga kratern som bildades i devon är utplånad. Dock har erosionen genom vattenkraft och inlandsisarna på ett märkligt sätt framhävt kraterns form. Det gör det möjligt för oss att än idag se en upphöjd



efter French (1998)

centralkupol, en nedsänkt ringstruktur av framförallt sedimentära bergarter och en omgivande kraterkant.

Så trots årens lopp och nedbrytande krafter är tecknen efter den stora katastrofen tydliga än idag.

Spår efter kosmiska nedslag – att upptäcka själva kratern vid Siljan

Spår efter meteoritnedslag borde vara enkla att upptäcka – en omvälvande katastrof med förödande konsekvenser som drabbar stora områden. Och visst var Siljansringens udda geologi känd sedan länge i Sverige. Många var geologerna som åkte till Siljansbygden, inte bara för de många fossilens skull, utan även med avsikt

att förklara uppkomsten av denna underliga ringformiga struktur som är så framträdande i det svenska landskapet. Tolkningsförslagen för ringstrukturen var många. Ett favoriserat förslag var att Siljansringen var lämningen efter en sloknad, nederoderad vulkan, andra förespråkade olika komplicerade rörelser i berggrunden som anledning till den ringformiga anordningen av de sedimentära bergarterna runt en centralt upphöjd kupol av huvudsakligen granit.

Men med tiden kom forskarna att acceptera att himlakroppar, inklusive vår jord, kunde kollidera med varandra och att resultatet av dessa kollisioner var meteorit- eller nedslagskratrar. Först uppmärksammades förstas månens ärrade yta. I samband med människans första månlandning intensifierades forskningen om meteoritkratrar allt mer. För ett antal

Bildningen av en meteoritkrater
(se texten för förklaring).



Kantställda brantstående kalkstenslager vid Osmundsberg.



Slagkäglestrieringen på granitblocket syns tydligt med hjälp av rimfrost.

kratrar kunde ett kosmiskt bildningssätt bevisas och så småningom började man systematiskt leta efter flera kratrar – ett sökande som på inget sätt är avslutat ännu. Jorden är en aktiv planet, fördelningen av hav och land styrs av plattetektoniken. Plattorna på jorden rör sig, bergskedjor bildas, hav försvinner, inget är beständigt på vår planet, till skillnad från exempelvis månen vars yta inte förändras längre (utom efter meteoritnedslag). Detta, tillsammans med erosionen och det faktum att de skålförmade kratrarna fylls igen av nya sediment, leder till att många kratrar försvinner från jordytan eller är svåra att upptäcka.

Siljanskratern bildades för nästan 400 miljoner sedan – en lång tid för erosionen att avlägsna bevis för meteoritnedslag.

Så vad finns egentligen kvar förutom en cirkulär form i landskapet?

Uppsmält och stelnad berggrund hade varit ett utomordentlig bra bevis för ett nedslag. Impaktsmältan har dock givit vika för tidens tand och är nästan borteroderad. Den krossade berggrunden som måste ha funnits i kraterbotten gick samma öde till mötes. Men på 60-talet började ett antal forskare leta systematiskt efter andra bevis och man hade turen med sig! Forskarna hittade olika strukturer i berget som är karakteristiska för de enormt höga tryck och temperaturer som uppnås vid ett meteoritnedslag. En sådan struktur kallas för slagkäglor. Slagkäglor (shattercones) hittar man på flera ställen i den centrala delen av kraterstrukturen, de bäst bevarade finns vid Hattjärn och Ingårdingsbo. Slagkäglor är en typisk högtrycksstruktur som består av ett tätt sprickmönster som solfjäderslikt breder ut sig till en kon- eller hästsvanslikande form. (foto ovan till vänster).

För att upptäcka ett mindre, men desto viktigare bevis måste man ta tunnslip till hjälp. När man betraktar

tunna, tunna skivor av berg i mikroskop så hittar man så kallade chocklameller i mineralet kvarts (Planar Deformation Features, PDF's). Kvartsen förglasas längs vissa kristallplan p.g.a. det höga trycket och uppvisar tätliggande, parallella sprickor. (foto nästa sida). Sådana strukturer som gäller som avgörande bevis för ett meteoritnedslag hittades 1975 av B. Furusjö i kvarts i en pegmatitgång.

Trots den lång framskridna erosionen vittnar berggrunden i sig också om den enorma kraften vid nedslaget. På många ställen är såväl det prekambrika urberget i kraterns centrala del som de fanerozoiska sedimenten förkastade och breccierade. Den normala lagerföljden av fanerozoiska sediment är störd och lagren brantställda eller t.o.m. överstjälpta. Detta kan man bäst beskåda vid Styggforsen eller i det nedlagda kalkbrottet Dalhalla. Stora kroppar av revliknande kalksten (Kullsberg- och Bodakalksten) är ibland förflyttade flera kilometer från sina ursprungliga lägen i det ordoviciska havet. Som ett exempel på den här företeelsen räknas kalkreven vid Osmundsberget (foto ovan till höger).

Men det viktigaste beviset för bildningen av Siljansringen genom ett meteoritnedslag är ändå det minsta – chocklamellerna i kvarts!

Siljans "upptäckt" som meteoritkrater är dock på inget sätt unik. Tvärtemot delar den sitt öde med många andra meteoritkratrar i Sverige och den övriga världen. Tvivlarna var och är många – men som forskare måste man hitta det här lilla avgörande beviset (chocklamellerna) för att kunna avgöra om en speciell geologisk struktur bildats av ett meteoritnedslag – en rund form i landskapet kan vara en bra utgångspunkt men räcker inte som förklaring!



De tunna parallella ränderna i kvartskornet är chocklameller – det avgörande beviset för att ett meteoritnedslag drabbade berggrunden!

Besöksmål i Siljanstrukturen

Vill man åka på en tur runt Siljan och själv leta efter de spår som meteoritnedslaget lämnade efter sig i landskapet, kommer här ett axplock av lokaler väl värda ett besök (markerade på kartan på nästa sida).

På väg mot Styggforsen kan man stanna till vid *Boda kyrka*. Kyrkan knyter samman några av de naturliga förutsättningarna som Siljansbygden har att erbjuda ur ett mänskligt perspektiv. Kyrkans orientering i nord-sydlig riktning styrs av den underliggande geologin. Den är nämligen byggd på en kulle bestående av revkalksten med samma orientering som åkte in som ett sjok när kratern kollapsade. Golvet i kyrkan och muren kring den gamla begravningsplatsen består av röd ortoceratitkalksten från trakten. Men bäst kan man beskåda de strutformade utdöda bläckfiskarna i en stenplatta som finns väster om vapenhuset. I omgivningarna av Boda har man brutit malm under 1700-talet – och det med framgång. Kyrksilvret kommer härifrån Bodatrakten.

Lämnar man kyrkan så har man från kyrktrappen, som består av Dalasandsten, en vidunderlig utsikt söderut mot Rättvik. De olika delarna av nedslagsstrukturen framträder tydligt. Ögonen följer den mjukböjda dalsänkan vars botten utgörs av de nedförkastade sedimentära bergarterna. Här, i kalkstenstrakten är landskapet öppet och byarnaligger som på ett radband längs ringsänkan. I väster höjer sig den skogsklädda centrala delen av den forna meteoritkratern och i öster bildas kraterkanten av de blånande bergen långt bort.

Vill man ta sig en närmare titt på berggrunden så är det bara att åka till naturreservatet *Styggforsen* strax

väster om Boda. Denna exkursionslokal med sin dramatiska natur är mycket instruktiv. Den kraftiga erosionen efter den senaste nedisningen har här blottlagt gränsen mellan de sedimentära bergarterna och det kristallina underlaget, samt skapat en 36 meter djup kanjon. De sedimentära bergartslagren som står på kant här härstammar alla från silurperioden. Man kan urskilja tre olika bergarter; lerskiffer, kalksten och sandsten. Sandstenen är den så kallade Orsasandstenen som samtidigt är Siljansringens yngsta sedimentära bergart. Alla dessa bergarter bildades när sediment avsattes i ett varmt siluriskt hav, perioden innan devon när nedslaget inträffade. Dessa avlagringar ombildades så småningom till fast berg och lagren låg horisontella såsom de avsattes tills plötsligt meteoritnedslaget ställde lagren på ända. Bergarterna är annars tämligen intakta, vilket betyder att de måste ha legat utanför området där meteoritkratern gröptes ur. När kraterkanten sedan kollapsade åkte bergartslagren inåt som stora paket och ställdes på kant. Den inre upphöjda delen av kratern kollapsade i sin tur och utvidgades utåt. Där den inåtkollapsande kraterkanten kolliderade med den utåtkollapsande centrala delen kom bergarterna i kläm. Förkastningar och veck är några av följderna som man kan titta på vid Styggforsen. Den kristallina berggrunden som ligger närmast de sedimentära bergarterna är helt sönderkrossad. Den består av kantiga brottstycken och kallas för breccia. Lite längre bort vid *Fogdeklippan* är graniten mest bara uppsprucken, men brottstycken har inte rört sig i förhållande till varandra. Däremot är sprickorna fyllda med mineralet kvarts som har cementerad den söndertrasade berggrunden.

I den centrala delen av Siljansstrukturen kan man här och där i skogarna hitta ett viktigt bevis för att det var ett meteoritnedslag som stuvade om i landskapet – nämligen slagkäglor! *Hättjärn* är ett naturreservat vid sidan om vägen som leder över den sk Siljanskupolen. Här fanns det tidigare ett stort antal av dessa hästsvansformade strukturer som anses bildas vid de höga tryck som råder vid ett meteoritnedslag. Tyvärr har tidens tand och alltför många alltför ivriga samlare gjort denna lokal till en övervuxen besvikelse för nyfikna besökare. Däremot finns det en ny lokal längre västerut vid *Stajsås* där man har grävt fram ett större område av granit. Här kan man numera studera dessa slagkäglestrieringar utan störande grönska och i stort antal. Må de lösa blocken dessutom vara för stora för samlare!

Solberga är ett nedlagt brott i revkalksten, den sk Bodakalkstenen. Brottet består av två olika nivåer. I det nedre ser man hur kalkstenen överlagras av mörk silurisk skiffer. Skiffern innehåller linsformade kalkkonkretioner – en populär utsmyckning i många trädgårdar i Siljansbygden. Själva kalkstenen är mycket uppsprucken och genomdras av många stora och små sprickor. Sprickorna är resultatet av att berget har rört

på sig och bildar ett nätverk i det trasiga berget. Längs dessa sprickor har olika vätskor kunnat röra sig. En kort tid efter nedslaget rörde sig varmt vatten runt området för nedslaget, en lösning med allehanda metaller som hade urlakats ur urberget. När vattnet kylades ner med tidens gång fälldes metallerna ut på sprickytor och idag kan vi således hitta svavelkis, flusspat och blyglans. Dessa mineral bröts på ett antal ställen i Siljansbygden – även silver hittades. Idag behöver man nog mycket tur för att hitta denna ädla metall. Emellertid kan man hitta olja som sipprar fram ur sprickor i brottets nedre del! På den övre nivån är ett antal borrhål bevarade som lämningar när man undersökte kalkstensens beskaffenhet. I dessa skvalpar en liten tunn hinna av olja på vattnet som fyller det mesta av borrhålet. När man upptäckte oljan var upphetsningen stor – men det var aldrig lönsamt att utvinna den.

Nittsjö lockar inte bara med keramikförsäljning – två kilometer norrut längs en skogsväg finns det nedlagda kalkbrottet *Amtjärn*. Här står kalkstenslagren nästan lodrätta och i brottets borte del är de till och med krossade. Här kan fossilletare få sitt lystmäte och under samlandets gång förundras över de krafter som reste kalkstenslagren i sitt nuvarande läge.

Det finns många lokaler där man kan se spåren efter meteoritnedslaget som jag inte nämner här. Flertalet är nedlagda kalkbrott som inbjuder till fossiljakt bland de uppresta sedimentära bergartslagren. Men håller man bara ögonen öppna så finns det mycket mer att upptäcka!

Katastrof eller välsignelse?

Idag är Siljansbygden ett viktigt turistmål, inte bara svenska turister lockas till det natursköna område i hjärtat av Sverige, även många utländska besökare hittar hit. Och inte bara turister... vem minns inte borrhningen i Siljansstrukturen på 70-talet där några (över?) entusiastiska vetenskapsmän begav sig på jakt efter naturgas. Enligt en ny teori skulle metangas inte bara bildas av organismer utan även strömma ut från jordens inre. Den uppspräckta berggrunden i kraterstrukturen skulle bilda en naturlig fälla för gasen som dessutom förseglades uppåt av en tät, horisontell lagergång av diabas (en basisk bergart). Entusiasm och förhoppningarna var stora inför detta stora internationella projekt och många människor i Sverige finansierade detta äventyr med sina surt förvärvade pengar. Borrhningarna visade sig dock fruktlösa, vilket många geologer i Sverige hade förutspått. Resultatet var säkert inte upplyftande för dem som hade investerat mycket pengar i det här projektet – men borrhningen ledde i alla fall till en första systematisk undersökning och kartering av kraterstrukturen!

Nu finns det planer på att utnyttja samma borrhål för att utvinna varmt grundvatten som kan cirkulera i den



Förenklad karta över Siljansstrukturen med exkursionslokalernas ungefärliga läge.

uppspräckta berggrunden. Det skulle vara en bra och miljövänlig metod att utvinna bergvärme. Om detta projekt fungerar eller inte får vi förmodligen reda på om några år.

Så – kan meteoritnedslaget i Dalarna räknas som Skandinavien största katastrof? Säkert om man bara tittar på de kortvariga effekterna – men i det långa loppet var denna katastrof ändå en lönsam affär för Sverige. För utan meteoritnedslaget hade Sverige sig fått klara sig utan Siljansbygd! Med andra ord – inget Gesundaberg för skidåkning, ingen Dalhalla för storslagna konserter, inga fåbodar, inga kalkbruk och inga Dalahästar eller något Tomteland- och hur Vasaloppet hade sett ut utan Mora kan man bara spekulera i.

Katastrof eller himlagåva? Bara man låter tiden ta sin gång och undviker, rumsligt och tidsligt, att vara närvarande vid själva nedslaget, så för en katastrof av himmelska mått mycket gott med sig.

Ilka von Dalwigk är doktorand vid institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet. Hennes avhandling behandlar den deformerade berggrunden i Siljansstrukturen; ilka@geo.su.se.



Då Skandinavien (nästan) rämnade

Ursholmen ligger sydväst om Koster i Bohuslän. Här finns meterbredda, mörka diabasgångar som bildades då Osloriften var aktiv.

Oslo-områdets geologi är unik för Skandinavien, och många bergarter och mineral därifrån är dessutom världsunika. Områdets speciella geologi är resultatet av ett misslyckat försök att skilja den Nordamerikanska kontinenten från Skandinavien som vid denna tidpunkt var delar av jättekontinenten Pangea. I artikeln berättas om områdets geologiska utveckling under några dramatiska tiotals miljoner år för omkring 300 miljoner år sedan.

AV TRINE-LISE KNUDSEN

Berggrunden i Sydnorge och Sydvästsverige består av bandade gnejser och graniter som är omkring en miljard (tusen miljoner) år gamla eller mer (markerade med blekt rosa färger på den geologiska kartan till höger). Under perioderna kambrium, ordovicium och silur, för 545 till 417 miljoner år sedan, var detta urberg täckt av hav där slam, lera, sand och kalk avlagrades; de så kallade kambrosilur-sedimenten (gröna, blåa och gula färger på kartan). För 300 miljoner år sedan rämnade jordskorpan i Sydnorge längs med gamla svaghetszoner i urberget och Osloriften bildades mellan Tønsberg och Langesund i söder och Mjøsa i norr. Det finns dessutom en sydlig del som sträcker sig 200 kilometer ut i Skagerak. Magma från jordens mantel trängde upp i jordskorpan och stelnade till djupbergarter och vulkaniska bergarter under en period på mer än 50 miljoner år (bruna, lila och orange färger på kartan). Uppsprickningen och den magmatiska aktiviteten startade i söder och förflyttade sig norrut med i genomsnitt en till två centimeter per år. Fyra separata

riftdalar eller gravsänkor bildades efter varandra i riftzonen; Skagerakssänkan, Vestfoldssänkan, Akers-hussänkan och Rendalssänkan. Berggrunden norrut mot Trysil och Särna är genomsett av nord-sydliga sprickor och zoner som var aktiva rörelse-zoner då Osloriften var aktiv. Dessutom finns i det prekambrisk urberget, från Koster i öster till Arendal i väster, förkastningar och gångbergarter som bildades i samband med riften (se fotot ovan). Tillsammans definierar dessa en rift som är mer än 500 km lång och över 60 km bred. Det är i samma storleksordning som den geologiskt aktiva Kenyanska riften i det Östafrikanska riftsystemet.

Längs Oslofjordsförkastningen i sydost var nedsjunkningen sammanlagt upp till fyra kilometer, medan det inte var någon nedsjunkning alls längs med kontakten till urberget i sydväst i Langesundsområdet. I sydväst skedde istället en stegvis nedsjunkning längs med en rad mindre nord-sydliga förkastningar mot öster och mot de centrala delarna av riften.

Under den senaste istiden för "bara" 10 000 år sedan avlägsnades de lösa sedimenten och berggrunden blev nedslipad och exponerad. Det är detta som gör att Osloriften är en av de mest lämpliga platserna på jorden för studier i vad som sker då jorden rämnar.

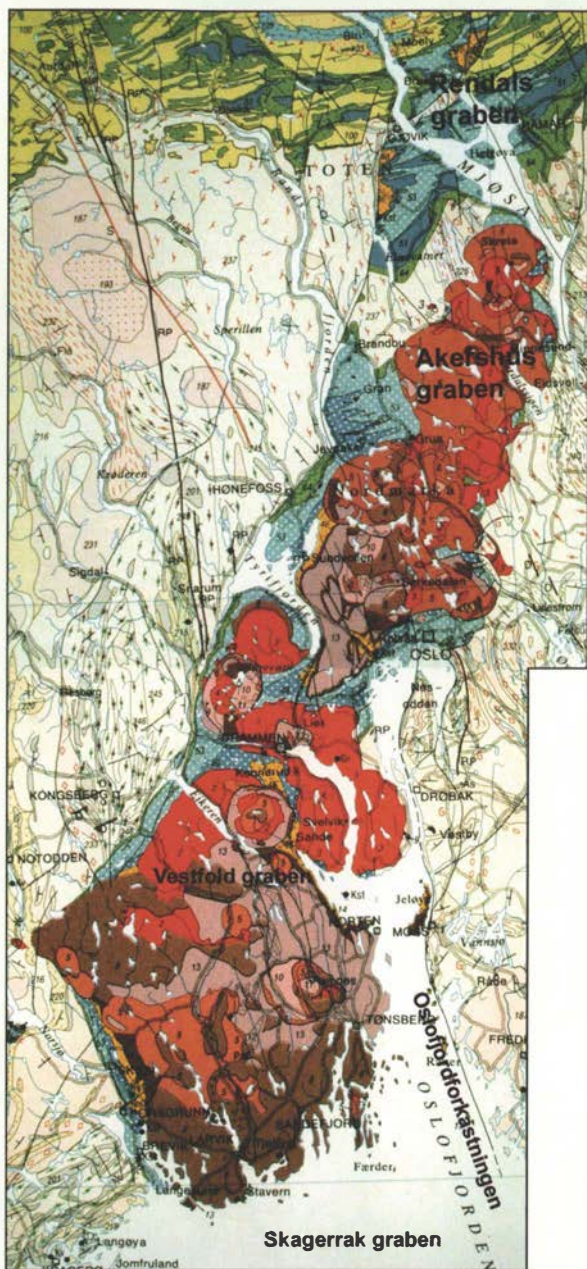
Varför rämnar jordskorpan?

Jordskorpan är uppdelad i flera stora jordskorpeplattor som förflyttar sig i förhållande till varandra med några millimeter till centimeter per år. Jordskorpeplattorna är så stora och förflyttningen så långsam att förändringar på jordytan som regel inte uppfattas inom en människas begränsade livstid. Sett över flera miljoner år förorsakar förflyttningarna dock dramatiska händelser på jorden. Sådana händelser har styrt utvecklingen i över fyra tusen miljoner år och har gett vår jord dagens utseende och sammansättning.

Plattrörelserna orsakar ständiga förändringar. Nya världshav skapas och utvidgas för att återigen tillslutas. I östra Afrika river krafter i jordskorpan så att kontinenten spricker upp och rämnar och bildar det Östafrikanska riftsystemet, med Etiopienriften, Kenya-riften och Tanganyika-Nyasariiften. Om några miljoner år kan ett nytt hav täcka området och göra det Afrikanska hornet till en ny ö. De två jordskorpeplattorna med Nordamerika och Europa rör sig från varandra med 2 centimeter per år. Mörk, basaltisk lava strömmar upp och skapar ny havsbotten i riften som befinner sig mitt ute i norra Atlanten.

En kontinentalrift är en nedsunken bit av jordskorpan. Den har bildats genom att jordskorpan har blivit utsträckt och förtunnad så att den rämnat längs två eller flera brottzoner i berggrunden. Längs brottzonerna sker horisontella och vertikala rörelser i jordskorpan, och dessa är ofta ledsagade av jordbävningar. Magma, glödande stensmältor från manteln, kan tränga upp och in i dessa brott- och svaghetszoner. En kontinental rift kan bildas genom att stora mängder magma från djupet av manteln pressar mot jordskorpan så att denna höjs och sedan rämnar. Riftsystemet på Island är ett exempel på en sådan *aktiv rift* på jorden idag. Alternativt kan en kontinental rift bildas genom att jordskorpan sträcks så att den spricker, så att magma från djupet kan finna en väg upp mot ytan. Bajkalriften i Ryssland är ett exempel på en sådan *passiv rift* som bildats vid utdragning i bak-kanten av Himalayas bergskedja.

Magma i en kontinental rift har en karaktäristisk sammansättning som kallas alkalin eftersom den är rik på alkaliska grundämnen som kalium och natrium. Sådana geokemiska särdrag blir bevarade i mineral i de vulkaniska bergarterna, till exempel i form av alkali-fältspat, alkali-pyroxen (ägin) och alkali-amfibol (barkevitiskt hornblände). Särdragen fryses in och kan identifieras även efter många miljoner år.



Förenklad geologisk karta över Osloriften. Efter Sigmond m.fl. (1984). Graben = (grav-)sänka.

De första tecknen

Under sen karbon, för 300 miljoner år sedan, hängde Nordamerika och Skandinavien ihop och bildade tillsammans med jordens andra kontinenter en enorm kontinent som kallas Pangea. Skandinavien låg nära ekvatorn och hade ett varmt och torrt klimat där



I förgrunden: prekambrisk gnejser. I bakgrunden: kambrosilursediment där mänitmagma har trängt in och stelnat i en ficka (vid pilen uppe till höger). Från brevik-Langesundsområdet längs sydvästra gränsen av Osloriften.

ökensand täckte jordytan. Lokalt fanns oaser med primitiva barrträdsliknande växter (Cordaites) och fräkenväxter (Calamites) höga som träd. Dessa omgav långsamt flytande floder och insjöar där fiskar levde. Detta var också perioden då kräldjuren utvecklades på jorden, men dessa finns inte bevarade som fossil i Osloriften. Sediment från sen karbon är lokalt bevarade och de kallas Askergruppen efter Asker väster om Oslo, där de olika sedimenttyperna är bra bevarade. Askergruppens avlagringar återspeglar de dramatiska ändringarna som skedde på jordytan då sedimenten avsattes.

Nederst finns brunröda, kolhaltiga skiffrar och sandstenar (Kolsåsformationen). De avsattes på flodslätter, i grunda insjöar och lokalt som ökendyner. De avspeglar ett område med små höjdskillnader i landskapet, och rödfärgen reflekterar torra, oxiderande förhållanden.

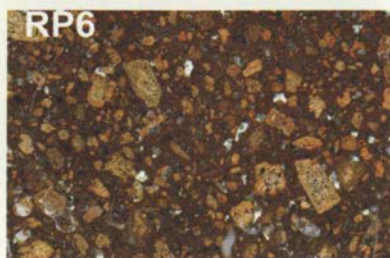
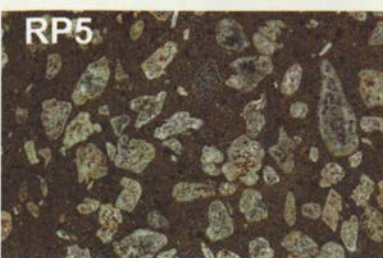
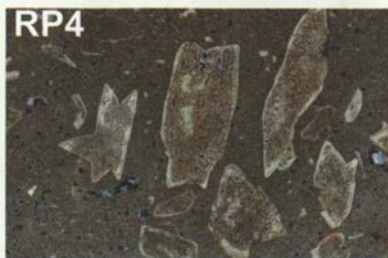
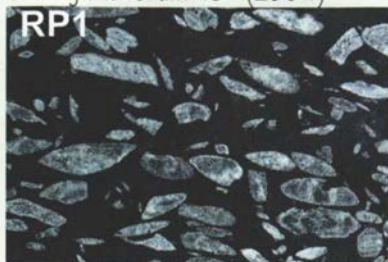
Ovanpå dessa ligger ljusa, brunröda kalkhaltiga sandstenar och konglomerat med rundade bollar av kvarts, kvartsit och gnejs (Tanumformationen). De grovkorniga sedimenten visar att det nu uppstått större topografiska skillnader i landskapet. Fossila sötvattensfiskar berättar om icke-marina förhållanden och fossila landväxter visar att fräkenliknande växter var vanliga. Lokalt uppträder marina kalkstenar som avsatts på grunt djup.

Överst finns rödbruna sandstenar och konglomerat, där fragmenten huvudsakligen består av basaltisk lava (Skaugumformationen). Vulkanisk aktivitet måste ha börjat under denna period, men lavorna blev snabbt eroderade och är endast bevarade som fragment i sedimenten. De första tecknen på aktivitet i Osloriften var alltså nedsjunkning med avsättning av sediment och vulkaniskt material.

Tidiga lagergångar

Tidigt i riftens utveckling trängde magma upp och horisontalt in mellan kambrosilurlagren och stelnade till gångar parallella med lagringen, lagergångar. De utgörs av två huvudtyper, dels mörka diabasgångar med centimeterstora kristaller av pyroxen eller amfibol, och dels ljusa grå till rosa fältspatsrika syenitgångar (kallade mänaiter efter Mæna i Hadeland, se fotot ovan). Båda dessa gångbergarter består av magma med ett ursprung från manteln, men magman genomgick stora förändringar i djupet av jordskorpan innan de trängde upp och stelnade på en högre nivå.

Orienteringen av en gång återspeglar riktningen på samtliga krafter som pressar, river och sliter i jordskorpan. De tidiga lagergångarna är antagligen bildade genom en sträckning av jordskorpan i samband med



De sex understa typerna av rombporfyrlava från Krokskogenområdet väster om Oslo. Foto Per E. Aas.

sammanpressningar och bergskedjebildning långt mot söder. Denna bergskedjebildning berodde på en kollision mellan centrala Europa och Skandinavien, och skapade en föregångare till bergskedjan Alperna. De flesta senare gångbergarterna i Osloriften är däremot vertikala och nord-sydliga, och bildade i samband med en öst-västlig sträckning av jordskorpan.

Basaltisk lava från sprickor genom jordskorpan

Över Askergruppens sediment avsattes ett upp till tusen meter mäktigt lager av mörka basaltiska lavaströmmar. Det betecknas B1-serien eftersom det representerar de första strömmarna av basaltisk lava i Osloriften. Vid detta stadium var utsträckningen kraftig och öppna sprickor bildades genom hela jordskorpan. De fungerade som tillförselkanaler där tusengradig het magma från manteln kunde transporteras nästan opåverkad ända upp till jordytan. Basalt är lättflytande, och magman strömmade långt ut över jordskorpan från sprickvulkanerna och bildade stora vulkanplatåer i riften.

B1-serien härstammar från flera sprickvulkaner och har varierande geokemisk sammansättning beroende på om vulkanen låg på kanten (flanken) av riften (Skien-basalterna), nere i riftdalen (Vestfoldbasalterna) eller längs förbindelsezonen mellan Vestfoldsänkan och Akershussänkan (Krokskogenbasalterna). I detta skede övergick Osloriften till att bli en aktiv rift, med en stor produktion av lava i förhållande till sedimentationen.

Rombporfyrlava och rombporfyrkonglomerat

Över B1-basalterna avsattes ett mäktigt täcke av rombporfyravor. De har fått sitt namn efter de centimeterstora fältspatskristallerna som sitter i en finkornig, grågrön till roströd mellanmassa som också består av fältspat. Rombporfyravorna uppvisar olika storlek och form på fältspatsromberna, och den nedersta och äldsta kallas RP1, därefter kommer RP2 osv (se figuren ovan). Varje typ kan bestå av flera separata lavaströmmar som härstammar från en sprickvulkan som matades från en magmakammare djupt ned i jordskorpan. Sprickorna var antagligen av ungefär samma dimension som lavaområdet själv, dvs maximalt 20 till 25 meter långa. Rombporfyravor förekommer från Vestfold i söder till Brumunddal i norra delen av Rendalssänkan. Åldern på RP1, antalet lavaströmmar och total tjocklek på lavatäcket minskar gradvis från söder mot norr. Rombporfyravor kunde därför bildas i Vestfoldssänkan samtidigt som B1-basalter avsattes i Akershussänkan.

Den geokemiska sammansättningen visar att rombporfyravorna inte utvecklats från B1-typens basaltmagma, utan de har sin egen magmakälla i manteln. Fältspatsromberna och tunga mörka mineral som olivin och pyroxen kristalliserades i magmakammare djupt ned i jordskorpan. De tunga mineralen följde inte med magman upp till ytan utan sjönk ned i botten av magmakammaren, medan fältspatsromberna flöt runt i en magma med samma densitet. Den finkorniga mellanmassan bildades då rombporfyravornas strömmade ut över den relativt kalla jordytan och snabbt avkyldes.

Uppsprickningen av jordytan och längs med riftkanterna var som mest intensiv då rombporfyravorna avsattes i Vestfoldssänkan. Längs dalsidan som



Klåstadbrottet i Tjolling, Vestfold, producerar mörk larvikit.

skapades av Oslofjordsförkastningen skedde ras och erosion av rombporfyrlava. Det bildades kilometer-tjocka solfjäderformade avsättningar med sand, grus och stenblock från riftkanten och in mot dalbotten. Stora mängder lava strömmade ut över riftdalen och utjämnade höjdskillnader i landskapet, men insjunkningen var snabbare än lavaproduktionen. Under denna period utvecklades en lågt liggande riftdal med en dalbotten som lutade mot öster och söder mot den mäktiga Oslofjordsförkastningen.

Larvikit

Inte all rombporfyrmagma nådde upp till jordytan. I Vestfoldssänkan finns det en hel familj med bergarter av samma magmasammansättning: 1. Rombporfyrlava stelnad på jordytan. 2. Rödbrun tönserbergit stelnad strax under jordytan. 3. Mörk och ljus grå larvikit stelnad på tre till fyra kilometers djup. 4. Rombporfyrgångar och grovkorniga pegmatiter som stelnat i fickor och gångar, från decimetersmala till flera meter breda. Larvikit är inte känt från andra ställen på jorden, men liknande bergarter är kända under namn som labradorit och monzonit. Rombporfyrlavorna verkar vara en särprägel för riftområden. Rombporfyrlavor med samma sammansättning som i Osloriften är endast kända från riftzoner i Östafrika och på Mt. Erebus i Antarktis, medan rombporfyrgångar med liknande sammansättning på fältspatskristallerna är kända från Gardarriften på Sydvästgrönland.

Larvikit har fått sitt namn efter Larvik i Vestfold och larvikit är den dominerande bergarten i södra delen av Vestfoldssänkan. I Akershusssänkan förekommer

larvikitliknande bergarter idag endast fläckvis som rester och inneslutningar i yngre bergarter. Detta visar att larvikitliknande bergarter var vanliga under ett tidigt stadium under utvecklingen av Akershusssänkan men att de ersatts av yngre bergarter som trängit in i samma område.

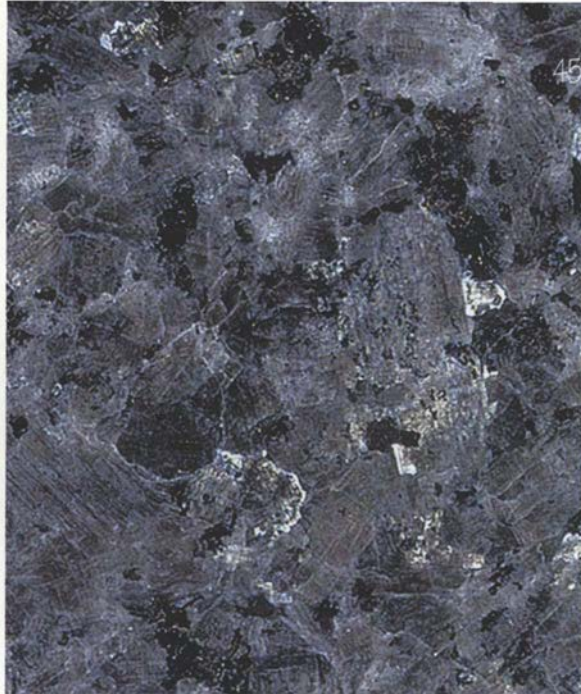
En av världens mest eftertraktade byggstenar

I över hundra år har larvikit brutits och bearbetats för försäljning som byggstenar, monument och gravstenar. Mörk grå larvikit bryts i Tjellingområdet öster om Larvik (se fotot till vänster), och ljusare grå larvikit bryts i Tvedalen inne i Langesundsfjorden. Man vet inte varför fältspaterna i de två larvikitkropparna har olika färg. Larvikit är i dag en av världens mest eftertraktade och bäst betalade byggsten på grund av det blåa färgspelet i fältspatskornen (se figuren till höger). Årligen omsätts larvikit för omkring 700 miljoner kr, något som motsvarar nästan 90% av den totala omsättningen av byggsten i Norge. Idag sågas stora block ut med hjälp av vajerågar besatta med små diamanter. Vidareförädlingen sker huvudsakligen nära marknaderna, i stora stencentra i Italien, Frankrike, Spanien och Kina. Ny teknologi har också öppnat möjligheten för produktion av specialanpassade interiörselement som badkar, butiks- och bardiskar och köksbänkar, i tillägg till golv- och fasadplattor. Nyligen öppnades ett nytt museum i Larvik och utställningen kallad "*Berget det blå*" behandlar geologi och industrihistoria knutet till brytning och användning av larvikit genom tiderna.

Pegmatiter i anknytning till larvikit

Berggrunden i Vestfold innehåller flera typer av fältspatsrika pegmatiter. Dessa härstammar från olika magmakällor som har trängt upp i jordskorpan vid olika tillfällen. Nefelinsyenitpegmatiter innehåller fältspat samt något nefelin och zirkon. De har trängt in i spröda, närmast öppna sprickor i larvikit och representerar antagligen restsmltor från kristallisationen av larvikiterna. Agpaitiska nefelinsyenitpegmatiter innehåller det röda mineralet eudialyt istället för zirkon och uppträder gärna som diffusa, meterbreda gångar och fickor omgivna av en zon med bandad larvikit eller basalt. De är troligen yngre och har trängt in i samband med rörelser och plastisk deformation av berggrunden. De härstammar antagligen från en djupbergart som befinner sig under den nuvarande jordytan i Langesundsfjordsområdet.

Öarna i Langesundsfjorden är världsberömda för sina pegmatiter med ett stort antal ovanliga mineral som innehåller grundämnen som det normalt finns lite av i



Polerade plattor av mörk och ljus larvikit från Tjølling respektive Tvedalen i Vestfold. Foto Per E. Aas.

jordskorpan. Ett exempel är en hel serie med röd–gulbrun–svarta mineral som eudialyt, hiortdalit, rosenbuschit, wöhlerit, låvenit och katapleit (se figur nästa sida). De har grundämnet zirkonium som huvudbeståndsdel i mineralstrukturen och innehåller gärna även andra ovanliga grundämnen som cesium, yttrium eller niob. Geologen W.C. Brøgger beskrev i detalj över 70 mineral från Langesundsfjorden runt förra sekelskiftet. Nio av dessa var okända för världen och har sin typlokal i Langesundsfjorden; melanocerit, eudidymit, låvenit, rosenbuschit, hiortdalit, cappelenit, hambergit, nordenskjöldin och hellandit. Låvenit har fått sitt namn efter den 60 meter långa och upp till 10 meter breda ön Låven i Langesundsfjorden. Idag är Låven, de två Skudesundsskären i Langesundsfjorden och en förekomst i Bratthagen i Lågendalen fredade som naturminnen. Lika rika och spännande mineralförekomster är dock fortfarande tillgängliga på andra öar i Langesundsfjorden.

Det sena stadiet i utvecklingen av Osloriften är bäst dokumenterad i Akershussänkan. Oslos Nordmarka innehåller en mångfald av utvecklade bergarter, där magman genomgått stora förändringar och sammansättningsmässigt är mycket olik utgångsmaterialet som var mörk basaltisk magma från manteln. De utvecklade bergarterna är gärna vita, rosa eller röda i färgen eftersom alkalifältpat och kvarts eller nefelin är de dominerande mineralen (se figur till vänster sidan 47).

Radiometriskas åldersbestämningar av bergarterna bekräftar att det har varit en systematisk utveckling med tiden för vilka bergarter som bildades i Nordmarka. Äldst är larvikitliknande bergarter (Kjelsåslarvikiten, Øyangenmonzoniten), därefter följer syeniter (Grefsen-syeniten, Gjæringensyeniten) och nordmarkiter (Nittedal-Grorudnordmarkiten, Harestuanormarkiten) och till slut ekerit och andra graniter (Tryvannsgraniten, ekeriten vid Maridalsvannet). Den systematiska utvecklingen representerar en klassisk utvecklingstrend som kan förklaras genom att magma i djupet av jordskorpan gradvis förändrade sammansättningen genom att fälla ut mineral (partiell kristallisation). Samtidigt avtappades magman pulsvis under den tidsrymd det tog att bilda Nordmarkas djupbergarter. Detta skedde utan att betydande mängder ny magma tillfördes magmakammaren. Nordmarkas djupbergarter bildades under en period på minst 25 miljoner år, då riftningen hade avtagit så pass att magman fick utvecklas i fred i jordskorpan under mycket långa perioder.

Magma kunde också nå jordytan och strömma ut som trakyt (lavabergart som motsvarar syenit i sammansättning) eller ryolit (vulkanisk bergart som motsvarar granit i sammansättning). Sådana lavar bildar gärna konformade vulkaner med branta bergssidor eftersom lavorna är trögflytande, mer som sirap än som vatten. Själva vulkankäglorna är idag försvunna genom erosion.



Låvenitkristall från ön Låven i Langesundsfjorden. Kristallen är ca 2 centimeter lång. Foto Per E. Aas.

Kägelvulkaner, vulkankollaps och kalderabildning

Kaldera (se *Geologiskt forum* 34) är en geologisk beteckning på en kilometerstor rund, eller oval insjunkning i vulkaniska områden. En kaldera bildas när magmakammaren under en vulkan gradvis töms på magma så att området inte längre kan bära vikten av vulkankägglan. Taket ovanför magmakammaren rasar samman och sjunker gradvis ned i djupet längs en ringformad insjunktionskrater, en ringförkastning. Magmarester pressas upp längs ringförkastningen och stelnar till en ringgång (se figur till höger på nästa sida) och centralt i kalderan som en vulkanplugg. Nedsänkningen fylls med lava och med sediment som bildats genom erosion av de vulkaniska bergarterna. Kalderor bevaras som kilometerstora, närmast cirkulära strukturer, t.ex. vid Ramnes och Sande i Vestfold, Drammen och Glitrevann i Buskerud, Bærum och Nittedal i Akershus (se den geologiska kartan sidan 41). De individuella kägelvulkanerna var aktiva i 5 till 10 miljoner år och under loppet av denna tidsrymd tömdes magmakammaren gradvis på magma.

Varför dog Osloriften ut?

Osloriften började som en passiv rift, men utvecklade sig till en aktiv rift. Den var ett tidigt försök att dela upp en stor kontinent, Pangea, och skilja Skandinavien från

Nordamerika. Den vulkaniska aktiviteten i Osloriften pågick i mer än 50 miljoner år, men jordskorpan måste ge upp försöket att dela landet i två. De stora volymerna av magmatiska djup- och ytbergarter hjälpte antagligen till att försegla jordskorpan och hindra den från att rämna så att ett nytt världshav kunde bildas. Ett nytt försök till uppsplittring som inte heller det lyckades skedde längre västerut i Nordsjön-området för omkring 250 miljoner år sedan. Processen var lyckad i den meningen att stora mängder sand, slam, lera och organiskt material deponerades och lade grunden för dagens oljeproduktion i området. En sista lyckad uppsplittring påbörjades under tertiär för 65 miljoner år sedan då Nordamerika, inklusive Grönland, och Nordeuropa gled ifrån varandra. Havsbottenskorpa bildades i riften och ett världshav öppnades längs den Mittatlantiska ryggen.

Vill du veta mer?

Dons, J.A. (red.) 1960: *Oslotraktenes geologi med 25 turbeskrivelser*. Vett og Viten AS. 2. utgåve.

Knudsen, T.-L. & Sundvoll, B. 2005: *Osloriften - hva skjer når jorda revner?* Ca. 150 sidor. Utges och blir tillgänglig på Universitetets Naturhistoriske museer från 2005; <http://www.nhm.uio.no/>



Nordmarkit från Grorud som ligger i ytterkanten av Nordmarka i Oslo. Infällt: polerad platta av Nittedal-Grorudnordmarkiten. Foto Per E. Aas.



En del av ringgången runt Bærumskalderan väster om Oslo. Infällt: Detalj av ringgången som är av syenit med synliga korn av fältspat och som visar en avkylningskontakt mellan två pulser av syenitmagma.

Larvik museum: "Berget det blå";

<http://www.larvik.kommune.no>

Universitetets Naturhistoriske museer og Botanisk hage, Oslo. Nettutstilling om Osloriften;

<http://www.nhm.uio.no/geomus/nettutstillinger/Osloriften/index.htm>

Litteratur i utval

Dahlgren, S., Corfu, F. & Heaman, L., 1998: Datering av plutoner og pegmatitter i Larvik pluton-kompleks, sydlige Oslo-graben, ved hjelp av U-Pb isotoper i zirkon og baddelyitt. *Norsk Bergverksmuseums Skrift nr. 14*, 32–39. Kongsberg mineralsymposium.

Heldal, T., Kjølle, I., Beard, L.P., Tegner, C. & Lynnum, R., 1999: Kartlegging av larvikitt mellom Sandefjord og Porsgrunn. *NGU Rapport 99.059*.

Heyer, H. 1967: Rombeporfyrr-stratigrafi vest for Holmestrand. *Norges Geologiske Undersøkelse* 255, 86–96.

Larsen, B.T., Gabrielsen, R.H., Olaussen, S., Bockelie, S. & Worsley, D., 1992: *Oslo Graben tectonics and sedimentation: field guide*. 2. utgave. Eget forlag (Norsk Hydro, Bjørn T. Larsen). ISBN 82-993198-1-1.

Larsen, B.T., Ramberg, I.B. & Jensen, E.S., 1978: Central part of the Oslofjord. I: The Oslo paleorift. *Norges Geologiske Undersøkelse Bulletin* 45, 105–124.

Neumann, E.R., 1980: Petrogenesis of the Oslo Region larvikites and associated rocks. *Journal of Petrology* 21, 49–531.

Neumann, E.R., Dunworth, E.R., Sundvoll, B.A. & Tollefsrud, J.I., 2002: B1 basaltic lavas in Vestfold-Jeløya area, central Oslo rift: derivation from initial melts formed by progressive partial melting of an enriched mantle source. *Lithos* 61, 21–53.

Oftedahl, C., 1953: The igneous rock complex of the Oslo region. XIII The cauldrons. *Det Norske Vitenskaps-Akademii, Skrifter* 3, 108 s.

Olaussen, S., Larsen, B.T. & Steel, R., 1994: The Upper Carboniferous – Permian Oslo rift: basin fill in relation to tectonic development. I: Pangea, global environment and sources. *Canadian Society of Petroleum Geologists. Memoir* 17, 175–197.

Petersen, J.S., 1995: Structure of the larvikite-lardalite complex, Oslo-region, Norway, and its evolution. *Geologische Rundschau* 67, 330–342.

Scott, R.W. & Middleton, R., 1983: Camptonite and maenite sills near Gran, Hadeland, Oslo Region. *Norges Geologiske Undersøkelse, Bulletin* 389, 1–26.

Sigmond, E.O. m.fl., 1984: Berggrunns kart over Norge 1: 1 million. *Norges Geologisk Undersøkelser*.

Sundvoll, B., 1994: *Magmatic and tectonic aspects of rift evolution; the Oslo (paleo-) rift*. University of Oslo, Norway.

Sæter, E., 1945: The igneous rock complex of the Oslo region III. The southeastern part of the Bærum-Sørkedal cauldron. *Det Norske Vitenskaps-akademi, Skrifte* 6, 60 s.

Sæter, E., 1946: Studies on the igneous rock complex of the Oslo region VII. The area of lavas and sediments in Nittedal. *Skrifter Norsk Vitenskapsakademi* 6, 34 s.

Trine-Lise Knudsen är förstelektor vid Universitetets Naturhistoriske museer og Botanisk hage, Oslo; t.l.knudsen@nhm.uio.no.

Översatt från norska av Joakim Mansfeld.

Skåne under dinosauriernas era



Berggrunden i Skåne vittnar om forntida landskap med vidsträckta flodplan och storskaliga skärgårdslandskap, där dinosaurier härskade på land, flygödlor i luften, och storvuxna reptiler i haven. Rester av denna svunna värld och dess fascinerade invånare går idag att finna på ett flertal platser i Skåne och angränsande delar av Halland och Blekinge. Nedan bjuds läsaren på en kort exposé över några av de kanske mest spektakulära mesozoiska fynd som gjorts i den skånska myllan.

AV JOHAN LINDGREN

Den mesozoiska eran (för 251–65 miljoner år sedan) delas in i perioderna trias (251–200 miljoner år sedan), jura (200–145 miljoner år sedan) och krita (145–65 miljoner år sedan), och kallas allmänt jordens medeltid eller reptilernas tidsålder. Som det senare namnet antyder var kräldjur de förhärskande organismerna på land, i luften såväl som i haven, medan vår egen grupp, däggdjuren, förde en mer blygsam tillvaro i skuggan av dessa bestar. Medan den för gemene man kanske mest bekanta gruppen – dinosaurierna – utgjorde de mest iögonfallande landlevande djuren, fanns det även andra, minst lika spektakulära, kräldjur som förtjänar att omnämnas. Flygödlor dominerade luftrummet under stora delar av mesozoikum, medan svanödlor (plesiosaurier) och delfinlika fisködlor (ichthyosaurier)

härskade i haven, även om de senare kom att ersättas av mosasaurierna (en numera utdöd grupp marina ödlor) under krittidens andra halva. Det får väl anses vara vida omvittnat att den mesozoiska eran och dess fascinerande invånare länge varit, och alltjämt är, ett populärt tema i böcker och på bioduken. Att även den svenska berggrunden hyser lämningar av dessa sägenomspunna djur är kanske inte lika känt. Icke desto mindre har förhållandevis talrika fossil påträffats i det (åtminstone från geologisk synpunkt) mest fulländade av alla landskap, nämligen Skåne. Nedan redovisas en del av de fynd som gjorts från olika delar av sydligaste Sverige. Vidare beskrivs kortfattat tre geologiska områden i Skåne med representativ berggrund från dinosauriernas tid.

Geologisk bakgrund

Geologiskt sett ligger Skåne insprängt på gränsen mellan en stabil urbergssköld i norr (den baltiska skölden) och den danska sänkan i söder. Berggrunden präglas till stor del av vidsträckta förkastningszoner (bl.a. den för geologer välkända Tornquist-zonen), vilka huvudsakligen löper i nordvästlig-sydöstlig riktning genom landskapet. Som en följd av omfattande rörelser i och omkring dessa zoner har berggrunden delats upp i ett rombiskt spricksystem med nordväst-sydöstligt strykande höjdområden (s.k. horstar) mellan vilka långsträckta sänkor (s.k. gravsänkor) bildats. Om man betraktar en geologisk karta ter sig berggrunden i Skåne först som ett veritabelt lapptäcke utan synbar struktur och ordning. Vid en närmare anblick kan dock vissa mönster skönjas. Samtliga horstar löper längs med förkastningszonerna och kan grovt antas följa vår gamla kontinents, Baltica, sydvästra rand. Horstarna utgörs huvudsakligen av magmatiska och metamorfa bergarter, bildade långt innan dinosaurierna härskade på jorden, och motsvarande berggrund återfinns först flera hundra meter ner i gravsänkorna. Dessa bäcken har nämligen efterhand fyllts med sedimentära bergarter (ofta vittringsprodukter från omgivande höjdområden varvat med organiskt bildade sediment) som ställvis kan vara flera kilometer mäktiga.

Helsingborgsområdet för 200 miljoner år sedan

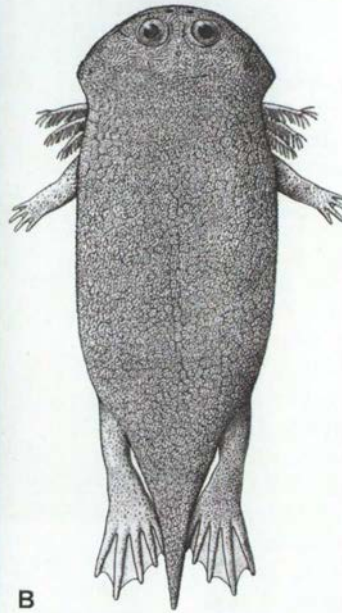
De äldsta mesozoiska bildningar som blottas i Skåne (vid Landskrona och Söderåsen) utgörs av drygt 200 miljoner år gamla rödfärgade sandstenar och konglomerat, som avsatts under ökenliknande förhållanden. Det karga klimatet berodde huvudsakligen på den baltiska sköldens dåvarande läge inne på superkontinenten Pangea. Inga större fossil är kända från dessa lager, men palynomorfer, d.v.s. pollen och sporer, förekommer i förhållandevis riklig mängd. För ca 200 miljoner år sedan, vid gränsen mellan trias och jura, började Pangea spricka upp. Skåne kom därvid att ligga vid kusten av ett större hav som brutit in från norr. Klimatet var varmt och fuktigt och bidrog i hög grad till att de mer höglänta områdena i nordost vittrade och eroderades. Floder och andra vattendrag förde med sig vittringsprodukterna ner mot havet. Vidsträckta floddeltan bredde ut sig längs kusten, varvid omfattande lager av sand, silt och lera avsattes. Vegetationen bestod inte som idag av gräs och lövskog, utan istället av storvuxna ormbunkar, ginkgoträd och kottpalmer, samt fräken- och lummerväxter. Dessa frodades i de flacka och sumpiga deltaområdena, där tjocka lager av multnande växtdelar ansamlades. När flodplanen från tid till annan översvämmades



Ett dinosauriefotspår från rätiska lerstenar vid Vallåkra. Spårets längd är ca 25 cm och det härstammar troligtvis från någon sorts rovdinosaurie. Foto Linda Larsson.

begravdes dessa träskmarker, och med tiden omvandlades de multnande växtlagren till tunna kolfötter i berggrunden.

Sediment bildade under rät-lias (d.v.s. vid övergången från trias till jura för ca 200 miljoner år sedan) går idag att beskåda i Helsingborgstrakten med omnejd. Då man under den första halvan av 1900-talet bröt kol för industriändamål i bl.a. Höganäs, Bjuv och Billesholm påträffades en stor mängd fotavtryck från dinosaurier nere i gruvgångarna. Senare har även avtryck dykt upp då man byggde Knutpunkten inne i Helsingborg och i det numera nedlagda lertaget vid Vallåkra (se foto ovan). Spåren tycks mestadels härröra från rovdinosaurier (theropoder), även om det inte kan uteslutas att andra typer av dinosaurier finns representerade. Förutom spåren hittade gruvarbetarna välbevarade förkolnade växtfossil, flera kompletta skelett från ganoida fiskar (en grupp primitiva benfiskar med stora, rombiska fjäll), samt rester från ett drygt meterlångt groddjur, benämnt bjuvstegocephalen eller *Gerrothorax rhaeticus* (se nästa sida). Grodan hade en bred och tillplattad kropp och var beväpnad med ett stort antal tättsittande koniska tänder. Sammantaget ger fynden en unik inblick i ett flackt, kustnära landskap med yppiga sumpskogar, där jättelika groddjur lurpassade i gölar och liknande vattendrag medan tidiga dinosaurier jagade längs stränderna (se figur sidan 51).



A. Foto av den monstruösa bjuvstegocephalen, *Gerrothorax rhaeticus*, och B. rekonstruktion av densamme (från Nilsson 1946, s. 37). Bilden till vänster visar ett stycke av 1933 års fynd sedd från buksidan. Fossillets totala längd är ungefär 25 cm. Rekonstruktionen till höger baseras på de tre skelett man hittills funnit i de rätiska skiffrarna vid Bjuv. Notera bl.a. munnens sträckning utefter hela huvudets bredd. Nilsson (1946, s. 37) hyste troligtvis inte några högre tankar om grodans skönhet då han beskrev att den "torde ej ha varit snarfager". Liknande tongångar har sedermera hörts från Per Lundegårdh och Sven Laufeld (1984, s. 340), som menar att "den kanske var det fulaste djur som någonsin levat i vårt land".

Fyledalen för 140 miljoner år sedan

Vid början av krittiden, för ca 140 miljoner år sedan, utgjorde stora delar av Skåne ett låglänt kustlandskap, med snabbt växlande biotoper. Bland bevarade depositionsmiljöer återfinns sjöar, floder, kärr, laguner och strandnära, marina områden. Liksom under tidig jura var klimatet subtropiskt, och närliggande havsområden inskränkte sig till smala sund och mindre bäcken. En nära nog komplett sekvens över tidsavsnittet är åtkomlig (efter lite grävning) vid Eriksdal i Fyledalen, där de s.k. Vitabäckslerna bildar gränsskiktet mellan juran och krita i södra Sverige. Lagren är idag brant uppresta och till och med något överstjälpna till följd av omfattande tektoniska rörelser i omkringliggande förkastningszoner under krittidens senare del. Då Vitabäckslerna avsattes bestod trakterna kring Eriksdal av ett flackt kustnära flodplan med en mängd brackvattenslaguner. Växtligheten dominerades av ormbunkar och barrträd, medan mossor bildade låga mattor längs markskiktet. Snäckor och musslor trivdes i de ljumma lagunerna, som periodvis även var tillhåll för hybodont hajar (en utdöd grupp av broskfiskar; se figur på sidan 52 och artikeln av Jan Rees i *Geologiskt forum* 38). Hajar förknippas idag med marina miljöer (även om vissa arter kan gå flera mil upp i flodsystem), men under jura och krita fanns hybodonterna i typiska brackvattenmiljöer, då de var på väg att konkurreras ut av de snabbt evolverande moderna hajarna ute på de

öppna haven. Förutom mollusker och broskfiskar, har även skelettresten av små amfibier och dvärgkrokodiler nyligen påträffats i Vitabäckslerna, och på det hela taget påminner associationen om de man finner i de berömda Purbeck- och Wealdenavlagringarna i södra England.

Kristianstadbassängen för 80 miljoner år sedan

Det område som i geologiska termer vanligen benämns Kristianstadbassängen avgränsas av Linderödsåsen och Nävlingeåsen i sydväst och sträcker sig upp mot det småländska höglandet i norr. I öster når gravsänkan Hanöbukten och ett sammanhängande bälte med kritavlagringar har påträffats så långt västerut som i trakterna kring Hässleholm. Ett stort antal utlöpare och isolerade förekomster med kritberggrund förekommer i sänkor och håligheter i urberget norr och nordväst om bassängens egentliga utbredning. Sett från ovan påminner området om en stor kil av sedimentär berggrund som trängt in i det prekambrika underlaget från öster. Bassängens djupaste delar ligger i anslutning till horstarna i sydväst, medan den sedimentära lagerföljden successivt tunnare ut mot norr.

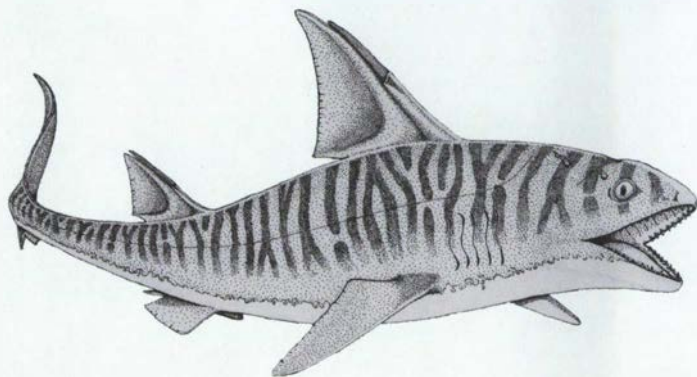
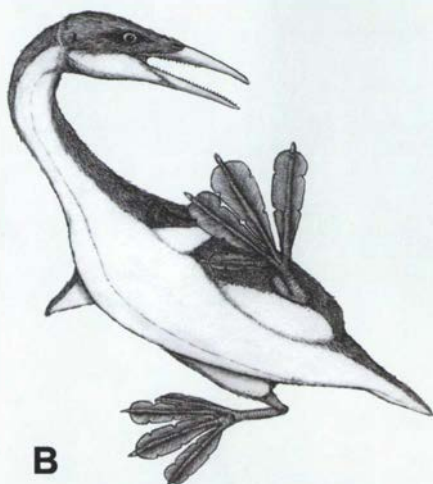


Rekonstruerad miljö av en tidvattenkust med laguner och ett frodigt landskap för ca 200 miljoner år sedan. Notera fotspåret nere till vänster. Illustrationen är gjord av Lisa Belhage.

Som en följd av regionala rörelser i jordskorpan under mellersta och sen krita steg havet över sydvästra Baltica, varvid troligtvis hela södra Sverige, åtminstone periodvis, täcktes med vatten. När havet steg svallades den djupvittrade berggrunden i området och finkorniga partiklar transporterades till djupare och lugnare delar av sundet. Grövre korn bildade sandbottnar nära kusterna, medan renspolade partier kom att utgöra holmar, skär och klippkuster. Den efterhand rikliga skalproduktionen kom så småningom att resultera i mäktiga bildningar av s.k. skalgruskalk. Sediment från etagerorna santon, campan och maastricht blottas i ett flertal märgelgravar och dagbrott inom Kristianstadsområdet, medan berggrund från mellersta krita (barrem till cenoman) endast påträffats vid borrhningar i bassängens mer centrala delar.

Under campan (för ca 80 miljoner år sedan) utgjorde de nordöstra delarna av Kristianstadbassängen ett

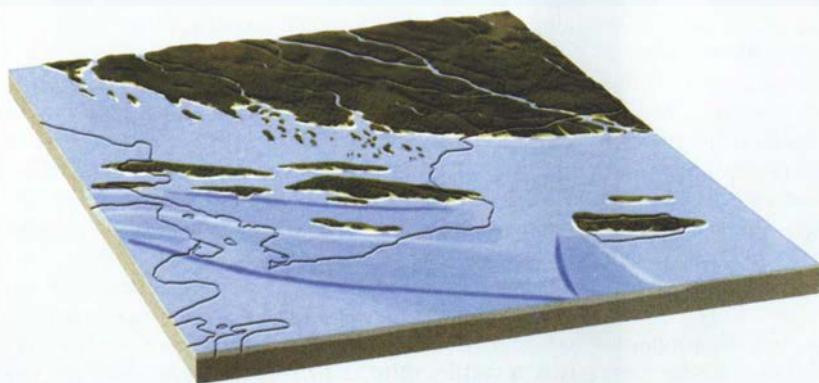
storskaligt skärgårdslandskap, där bl.a. Ryssberget, Ivö Klack och Fjälkinge Backe stack upp som öar över vattenytan (figur nästa sida). Mellan skären patrullerade hajar, svanödlor och mosasaurier i jakt på något av de mäktiga stim av fisk och bläckfisk som levde i det alltigenom grunda havet. Klimatet i södra Sverige var vid denna tid mildtempererat och tämligen behagligt. Landskapet var frodigt och täta skogar med barrträd, lummer- och fräkenväxter bredde ut sig på öarna och fastlandet i norr. De blommande växterna, angiospermerna, hade gjort entré under tidig krita och bildade nu täta dungar av örter längs markytan. Ett par fynd av tänder och kotor från växtätande dinosaurier visar att dessa spektakulära djur ingick i den svenska faunan. Det är egentligen ganska förvånande att man hittat rester av länddjur i marina avlagringar, men land (i form av öar och skär) fanns i närheten och troligtvis har levande djur och/eller kadaver sköljts ut i

**A****B**

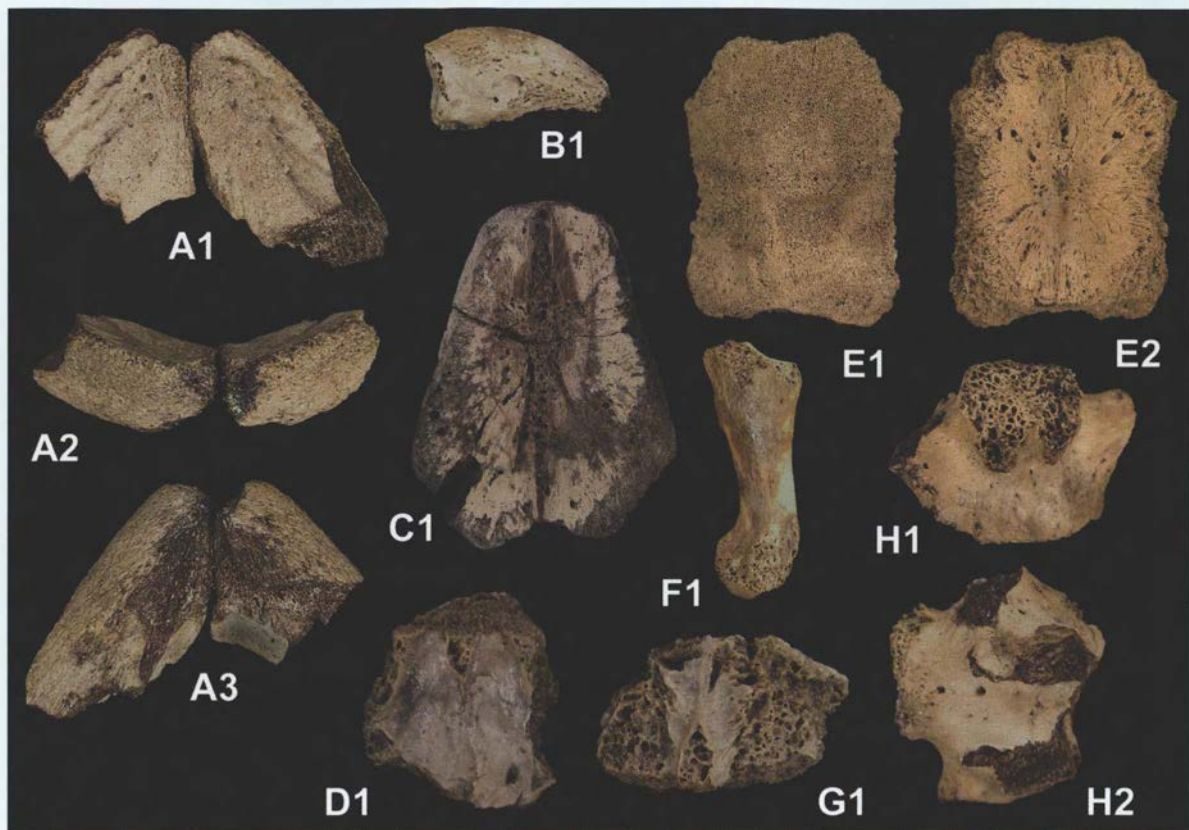
A. Rekonstruktion av en drygt 2 meter lång hybodont haj. Denna broskfisk var vanlig i de tidigkretaceiska vattnen kring nuvarande Eriksdal i Fyledalen. Notera de prominenta fenpiggarna och de små hornliknande utskotten på huvudet; de senare visar att det rör sig om en hane. B. Den storvuxna (2 meter), senkretaceiska sjöfågeln Hesperornis som författaren tänker sig att den kan ha sett ut. Skelettresten från denna tandförsedda best har hittats på bl.a. Ivö Klack i Kristianstadbassängen.

bassängen vid översvämningar. Även benskärivor från flygödlor (pterosaurier) och ben från marina fåglar har påträffats i Skåne (B i figuren ovan). De förstnämnda var krittidens största flygande varelser. Förutom 100-tals fällda tandkronor representeras de marina reptilerna (d.v.s. plesiosaurierna och mosasaurierna) av kotkroppar och, i sällsynta fall, även av käkfragment och andra benrester, medan skalplåtar, extremitetben och skallfragment från havssköldpaddor förekommer i riklig mängd (foto nästa sida). Ibland förekommer

bitmärken på benbitarna. Dessa har endera uppkommit vid aktiv jakt eller då hajar och reptiler kalasat på ruttnande kadaver som flutit omkring i vattenrymden. De överlägset vanligaste fossilen från ryggradsdjur i den skånska kritan är tänder och tandplattor från hajar, rockor och deras kusiner havsmusfiskarna. Till dags dato har 10 000-tals tänder samlats in, och dessa representerar ett 40-tal arter broskfiskar med uppskattade kroppslängder på mellan 0,5 och 5 meter.



Klippkust från sen krittid. Kustlinjen gick troligtvis i höjd med det småländska höglandet, medan det som idag är Skåne utgjorde ett utpräglat skärgårdslandskap med en mängd små öar och skär. Illustration är gjord av Erik S. Jensen.



Havssköldpaddeben från den skånska kritan vid Åsen (ca 80 miljoner år gamla). A. Den främre delen av en underkäke, sedd (1) ovanifrån, (2) framifrån, och (3) underifrån, $\times 1,1$. B. Klo, sedd från sidan, $\times 2,4$. C. Neuralplåt, sedd underifrån, $\times 1,1$. D. Del av hjärnskål, $\times 1,5$. E. Neuralplåt, sedd (1) ovanifrån och (2) underifrån, $\times 1,4$. F. Extremitetben, $\times 1,8$. G. Del av hjärnskål (från samma individ som D), $\times 1,7$. H. Kota, sedd (1) bakifrån och (2) ovanifrån, $\times 1,8$. Fossilerna har samlats in av författaren med kollegor under flera storskaliga (läs landskapsomvandlande) utgrävningar av den marina sand som efter mycket arbete går att komma åt på lokalen. Foto författaren.

Som ovan visats har ett relativt stort antal unika fossil tillvaratagits från skånes mesozoiska avlagringar. Särskilt ligger dock åtskilliga intressanta fynd kvar i marken och väntar på att bli upptäckta. Eventuella upplysningar om fossilfynd kan med fördel lämnas till Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm eller till Geologiska institutionen vid Lunds universitet.

Litteratur

- Jensen, E.S., 2002: Skåne genom 1.800 miljoner år. *Varv* 2002, 3–31.
- Lindgren, J., 1999: Mosasaurierna – krithavens jätteödlor. *Geologiskt forum* 21, 3–7.
- Lindgren, J., 2001: På jakt efter den stora sjöormen. *Geologiskt forum* 31, 3–5.
- Lindström, M., Lundqvist, J. & Lundqvist, T., 2000: *Sveriges Geologi från Urtid till Nutid*. Studentlitteratur, Lund. 491 s.
- Lundegårdh, P.H. & Laufeld, S., 1984: *Norstedts Stora Stenbok*. P.A. Norstedt & Söners Förlag, Stockholm. 376 s.
- Nilsson, T., 1946: När de skånska stenkolerna voro levande – växt- och djurliv i nordvästra Skåne för 150 miljoner år sedan. *Kullabygd* 19, 3–39.
- Rees, J., 2003: Vitabäckslerorna avspeglar en mesozoisk lagunmiljö. *Geologiskt forum* 38, 4–9.

Johan Lindgren är fil. dr. och verksam vid Geologiska museet i Köpenhamn och Lunds universitet; johan.lindgren@geol.lu.se

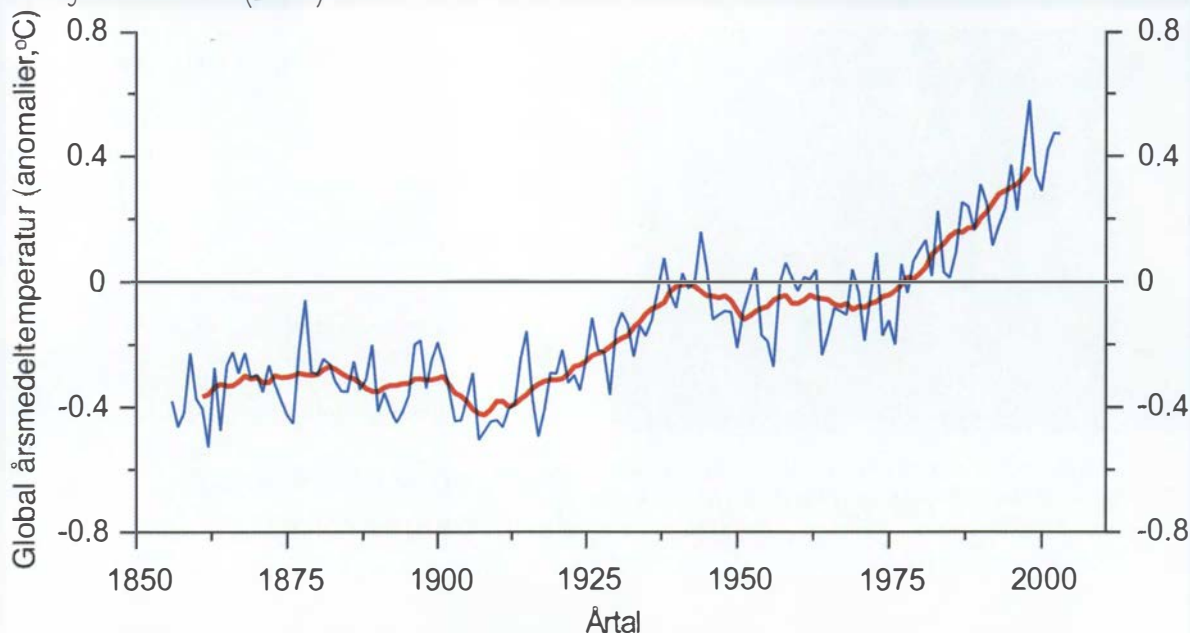
Sagan om trädringen – en berättelse om 1100 års sommarklimat

Redan Linné insåg att ett träs årsringar avspeglar klimatet på den plats där det växt. Träd växer nästan över hela jorden och de har gjort så under en mycket lång tid. Träd är därför utmärkta klimatindikatorer som under gynnsamma förhållanden kan avslöja klimatets växlingar många tusentals år bakåt i tiden. Här berättas om arbetet med att etablera en trädringsserie från de jämtländska fjällen, och om vad denna säger oss om sommarvädret under drygt tusen år.

AV HANS LINDERHOLM

Jordens medeltemperatur har ökat med ca 0.6°C sedan slutet av 1800-talet (se figur nästa sida). Det kanske inte låter så dramatiskt, men när det gäller jordens medeltemperatur är det mycket, för ökningen har varit betydligt större i vissa områden (och naturligtvis mindre i andra). Små temperaturförändringar kan ha stora effekter för djur och växter som lever på gränsen av vad de klarar av. Temperaturutvecklingen sedan mitten av 1800-talet ser onekligen exceptionell ut, men det är viktigt att tänka på att 1800-talet var ett av de kallaste århundradena under de senaste tusen åren. Att medeltemperaturkurvan börjar här beror på att systematiska mätningar av temperatur började utföras på ett stort antal platser i världen just vid denna tid. För att sätta temperaturökningen i ett längre perspektiv, och dessutom få kunskap om hur mycket människan och hennes utsläpp har påverkat klimatet, måste vi få information om klimatet avsevärt längre tillbaka i tiden. Faktiska observationer av väder som sträcker sig bortom 1800-talet finns bara från ett fåtal platser i världen, och i Sverige finns bara tre stationer som började registrera meteorologiska observationer under 1700-talet

(Uppsala, Stockholm och Lund). För att nå bortom 1700-talet måste alternativa källor med klimatinformation utnyttjas. Det finns ett flertal naturliga arkiv som innehåller klimatinformation. Iskärnor från inlandsisar och glaciärer, sedimentkärnor från oceaner och sjöar eller droppstenar från kalkstensgrottor kan ge klimatinformation som sträcker sig hundratusentals år tillbaka, dock oftast med ganska grov upplösning (10–100 år). Andra källor, t.ex. trädringar, koraller, musslor eller historiska dokument (dagböcker, väderjournaler, fenologiska observationer etc.), kan ge klimatinformation med årlig upplösning fast under ett kortare tidsperspektiv än de ovan nämnda. Av de klimatarkiv som kan ge information med årlig upplösning är trädringar att föredra: dels finns det träd i de flesta delar av världen (även om alla träd inte är användbara för klimatstudier), och dels är det förhållandevis lätt att samla in prover från träd, jämfört med andra klimatindikatorer. I speciella miljöer kan dessutom träd bli betydligt äldre än både musslor och koraller, i Sverige kan t.ex. tallen bli drygt 500 år gamla och i andra delar av världen kan vissa trädslag bli tusentals år gamla.

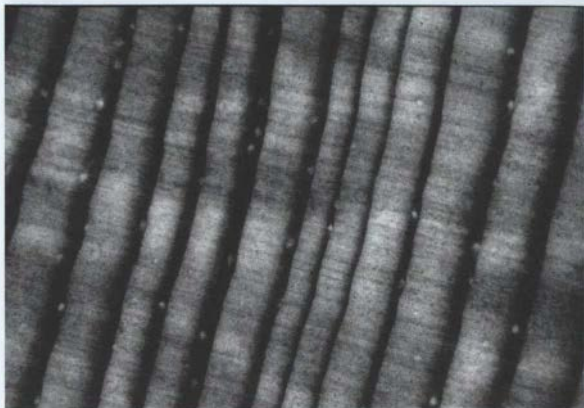


Jordens medeltemperatur sedan 1856. Kurvan visar på avvikelser (anomalier) från perioden 1961–1990. Den röda linjen motsvarar ett 10-års löpande medelvärde. (Data hämtade från Climate Research Units hemsida: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>. Datasetet finns beskrivet i Jones, P.D., New, M., Parker, D.E., Martin, S. and Rigor, I.G., 1999: Surface air temperature and its variations over the last 150 years. *Reviews of Geophysics* 37, 173–199.)

En kort historik

Ytterligare en fördel med träd är att i speciella miljöer, där nedbrytning inte sker eller är långsam, kan döda träd bevaras i tusentals år, i fjällsjöar, mossar eller flodsediment, s.k. subfossilt trä. Om tillförseln av döda träd sker kontinuerligt inom ett område, är det alltså möjligt att få tillgång till träd som levt under alla tidsåldrar, från idag till dess att träd började etablera sig i området. Det är dock osannolikt att träd tillförseln skett utan avbrott på ett och samma ställe och då måste man söka efter träd på flera platser inom ett stort område. Den längsta sammanhängande trädringsserien (trädringskronologin) finns idag i Europa och sträcker sig nästan 13000 år tillbaka i tiden, dvs. över hela den senaste värmeperioden som kallas Holocen, och den består av träd från hela Nord- och Mellaneuropa. I Sverige är vi faktiskt inte så mycket sämre. Från Torneträskområdet, i de nordligaste delarna av Lappland, har en trädringskronologi byggts ihop som sträcker sig 7400 år tillbaka i tiden. Att bygga en så lång kronologi är mödosamt. Det tog nästan 25 år att pussla ihop alla tusentals träd till en sammanhängande kronologi. Trädringarnas förtjänster gör att de är i särklass mest använda källorna för rekonstruktioner av de senaste årtusendenas klimat.

De gamla grekerna noterade att träd genererar mer eller mindre lika årsringar och att storleken på dessa var beroende av lokala klimatförhållanden. Långt senare gjorde Leonardo da Vinci (1452–1519) kopplingen mellan variationer i trädringarna och förändringar i klimatet, och vår egen Carl von Linné (1707–1778) gjorde vissa observationer under sina berömda resor. Under sin resa till Öland (1741), konstaterade han att en ekstock hade format årsringar av varierande tjocklek. Efter att ha räknat ringarna fann han att trädet hade levt i 260 år, och att ringarna som bildats år 1708–1709 var speciellt små. Eftersom vintrarna varit svåra dessa år drog han slutsatsen att det var vinterns hårdhet som styrde tillväxten: "Alltså hava vi uti eken liksom en krönika på vintrarna, dem vi kunna få oss bekanta hela 200 à 300 år tillbaka." Under sin Skånska resa 1749 använder Linné denna kunskap för att göra en tabell över tjockleken hos årsringarna i en hundraårig ek, där han delar in trädringarna i tre klasser: anmärkningsvärt smala och breda årsringar samt normala. Därmed är Linné sannolikt en av de första som dragit klimatologiska slutsatser från årsringar, och även om hans slutsats att det var vinterns hårdhet som betingade tillväxten senare har visat sig felaktig, så var det ändå en mycket intressant observation.



Ett tvärsnitt av tall med tydliga årsringar. De tunna, ljusa cellerna utgör vårveden, och de kompakta, mörka cellerna utgör höstveden. Tillväxten har skett från vänster till höger.

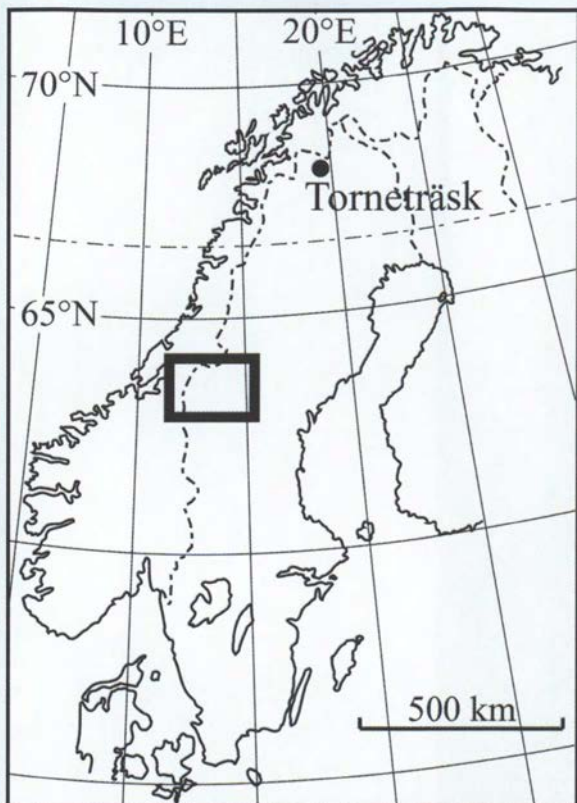
Det är dock amerikanen Andrew E. Douglass (1867–1962) som anses vara den moderna dendrokronologins fader. Douglass var astronom och intresserade sig för solfläcksaktiviteten och dess koppling till variationer i klimatet, främst nederbörd. Det fanns dock inte tillräckligt långa meteorologiska serier för att säkert fastställa något samband. Douglass bedömde att eftersom klimatet påverkade växternas betingelser, så borde en årsrings tjocklek i ett träd kunna användas som ett mått på klimatförhållandena under tillväxtsåret. Mycket riktigt fann han att ringviddsvariationerna hos träd i sydöstra USA motsvarade variationerna i nederbörden. Han observerade också att samma mönster av smala och tjocka årsringar återfanns i träd som vuxit under samma tidsperiod, inte bara träd som vuxit nära varandra utan också hos träd som vuxit på relativt stort avstånd från varandra. Denna upptäckt ledde till att Douglass med hjälp av korskorrelation kunde bestämma åldern för varje enskild årsring. Metoden kunde utnyttjas både för att datera prover från levande träd och för att datera äldre trädstycken, t ex delar av byggnader. Det enda som behövdes var att träden hade en gemensam växtperiod där samma mönster i träd-ringsviddens variation kunde observeras. Denna metod att datera trädprover kallas korsdatering, och kan sägas vara ett av de viktigaste stegen i arbetet att bygga upp en daterad träd-ringskronologi. Douglass var den första forskaren som kunde fastställa ett statistiskt samband mellan klimatet och trädens tillväxt. Hans arbete resulterade också i att träd-ringsvariationsmönster från odaterade prover kunde korsdateras med prover av känd ålder: t ex samarbetade Douglass med arkeologer

som undersökte indianbyar (pueblos) i sydvästra USA. Han hjälpte till att datera trädprover från dessa och byggde samtidigt upp en dendrokronologi som sträckte sig från AD 700 till 1929. Grunderna till dagens dendrokronologi lades av Douglass medarbetare Edmund Schulman, som bl.a. påbörjade arbetet med att bygga världens då längsta kronologi av Bristlecone-tallen, en träd-ringskronologi som idag sträcker sig ca 9000 år tillbaka i tiden. Douglass och Schulman grundade även världens första dendrokronologiska laboratorium, Laboratory of Tree-Ring Research vid University of Arizona, som idag har en av världens största samlingar av dendrokronologier från hela världen.

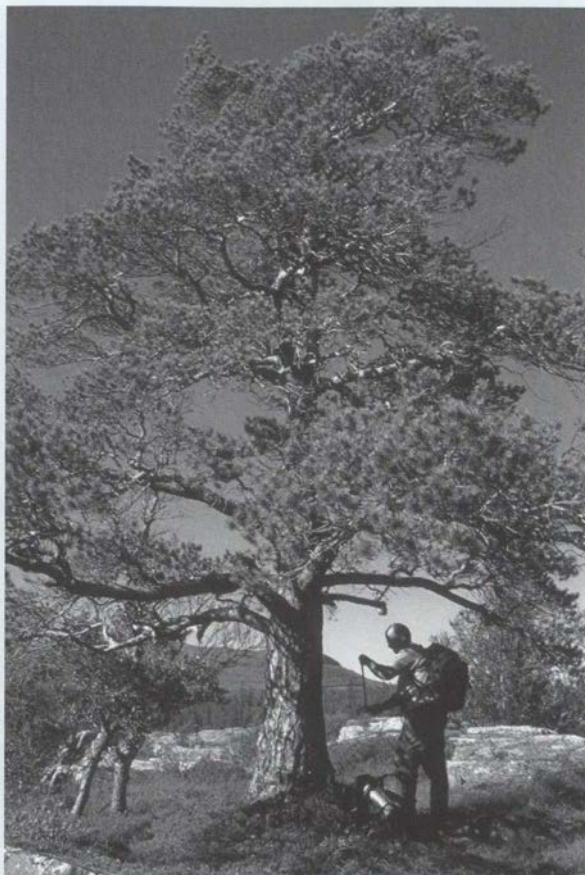
Träd-ringar och klimat – dendroklimatologi

Ett träds tillväxt sker i huvudsak i tre organ: rötter, stam och löv eller barr. För en dendrokronolog är den radiella tillväxten i stammen mest intressant. Stammen på ett träd avgränsas utåt av döda, förtorkade celler, ytterbarken. Innerbarken är dock levande och innehåller olika slags vävnader, varav den viktigaste kallas *floem*. Floemets uppgift är att leda det överskott av näringsämnen som bildas vid fotosyntesen till trädets alla delar. Veddelen eller *xylemet*, själva träet, delas på äldre träd in i en yttre levande del kallad splintved och en inre död, och ofta mörkare, del kallad kärnved. Mellan veden och barken finns ett tunt lager av vävnad, *kambium*, som svarar för det mesta av tillväxten. Kambiets celler delar sig i radiell riktning och avger floemceller utåt och xylemceller inåt. Då stammen växer på längden och bredden, bildas nya xylem- och floemlager. Det gamla förbrukade floemet avskiljs utåt och blir en del av den döda ytterbarken. Det mer hållfasta xylemet bibehåller sin form och bildar årsringar. Tjockleken på årsringarna beror på hur förhållandena varit under tillväxttiden. De koncentrisk ringarna är hos träd i huvudsak uppbyggda av celler med ganska tjocka väggar. Cellernas storlek inom en årsring varierar. Den inre delen av en årsring, *vårveden*, består av celler som bildas snabbt, är stora och har tunna väggar och är därmed ljusa i färgen. Allteftersom växtperioden fortskrider tar det längre tid för nya celler att utvecklas, de blir mindre samt får tjockare cellväggar; *höstveden* är den mörka delen av årsringen. Övergången från vårved till höstved är oftast diffus, medan skillnaden mellan en årets höstved och följande års vårved är skarp (se foto ovan).

Träd-ringar innehåller naturligtvis en mängd information som inte bara är klimatrelaterad: ålders-trend, mikroklimat, jordförhållanden, konkurrens med andra träd om ljus och näring, etc. För att kunna göra en lyckad klimatrekonstruktion måste den icke-klimatrelaterade informationen i årsringarna, det s.k. *bruset*,



Prover togs från levande och subfossila tallar inom det markerade området för att bygga upp Jämtlands-kronologin. Samstämmigheten mellan trädringsvariationer i Jämtland och Torneträsk innebär att träd som växer i fjällkedjan är mycket bra arkiv för information om regionala sommartemperaturer.



Vid provtagning av levande träd använder man en tillväxtborr. Tallen Björn borrar i är drygt 500 år gammal.

minimeras. Om bruset skulle vara specifikt för varje enskilt träd, skulle det vara lätt att få bort det genom att göra ett medelvärde av alla trädringsserier. Tyvärr är det inte så lätt, ett träd har nämligen inte konstant tillväxttakt under sin livstid. En ung planta får i början jobba hårt för att etablera sig, och en årliga tillväxten är då låg. Då trädets rötter har spritt sig, och produktionen av nya skott i trädskronan ökat kan tillväxttakten accelerera. Tillväxttakten avtar med ökad ålder och blir mot slutet relativt konstant. Denna ålderstrend är viktig att ta bort för att kunna jämföra olika trädss tillväxtnöster på ett rättvist sätt. Detta sker med s.k. standardisering, där trädringsserierna från enskilda träd delas med en kurva som symboliserar tillväxttrenden. När de standardiserade trädringsserierna läggs ihop till en *masterkronologi*, har man fått fram en tidsserie med en

maximerad gemensam signal som används för att rekonstruera klimatet. Syftet med en dendroklimatologisk studie är ju att med hjälp av en trädringskronologi rekonstruera klimatet för en tidsperiod där klimatologiska mätserier saknas. Det första steget är att etablera en statistisk länk mellan ringviddsvariationer och variationer i klimatet, i en kalibrering. Baserat på sambandet mellan trädringsvariationerna och klimatet skapas en matematisk modell som används för att rekonstruera exempelvis temperatur eller nederbörd så långt tillbaka i tiden som man anser att man kan lita på sin trädringskronologi. Vilken sorts klimatinformation, och vilken styrka på klimatsignalen, som finns i trädringarna beror på miljön där träden har växt. Träd som växer på gränsen av vad de klarar av uppvisar oftast en starkare klimatsignal än träd som växer i en



En borrhärna. Längst ner på borrhärnan syns ett tjockt barklager (brunt) och det vita mellan barken och själva träet är kambiet där träd tillväxten sker.

”lugn och trygg” miljö, där det finns gott om näring och klimatet är gynnsamt. Växer träden i en miljö där vegetationsperioden är kort och kall, som i fjällen, är det troligt att sommartemperaturen styr tillväxten. Växer träden däremot i områden som är varma och torra innehåller trädringarna information om nederbörden. Träd som växer mellan dessa extremer uppvisar troligen en klimatsignal som är en blandning av temperatur och nederbörd. Dessutom är det viktigt att träden har växt i en naturlig miljö, utan att människan har påverkat tillväxten och stört klimatsignalen genom gödsling, avverkning eller gallring.

Att bygga en mångtusenårig dendrokronologi – Jämtland

För att förstå klimatvariationer, på lokal och regional nivå, behövs alltså klimatinformation som sträcker sig så långt tillbaka i tiden, helst från många platser i världen, som det är möjligt. Vårt mål var att med prover från tall (*Pinus sylvestris* L) bygga upp en flera tusen år lång trädringskronologi från de centrala delarna av fjällkedjan, där trädens årsringar innehöll en sommartemperatursignal. Jämtlandskronologin skulle tillsammans med kronologin från Torneträsk ge information om regionala likheter och skillnader i sommarklimatet i Nord- och Mellansverige. Vi hade fått uppgifter om att det fanns skog med mycket gamla träd,

samt sjöar fulla av döda träd nordväst om Anarisfjällen i västra Jämtland (se karta sidan 57). Under fem år jobbade jag och min kollega Björn Gunnarson (och ibland även assistenter) med att samla in och mäta hundratals prover från denna vackra del av svenska fjällen. Här följer en kort berättelse om hur det kan gå till att bygga upp en lång trädringskronologi.

Varje år åkte vi upp i juni och september-oktober, då det oftast var lite mygg, för att samla in prover. För att hitta bra lokaler rekognoscerade vi till fots eller med helikopter och fick dessutom en hel del bra tips från orsbefolkningen. Med en s.k. tillväxtborr tog vi prover från levande gamla träd längs fjällsluttningarna (foto sidan 57). Metoden ger ett litet utsnitt av trädet, en kärna på ca 0.5 cm som rymmer ett sugrör (foto till vänster), och eftersom tallen nästan direkt producerar kåda som fyller upp det lilla hålet, tar trädet ingen skada av bormningen. Det äldsta levande trädet vi borrade i var drygt 550 år gammalt, och eftersom det var ca 1.3 m över marken (där man tar proverna) så var trädet troligtvis åtminstone 100 år äldre. Provtagning av levande träd är förhållandevis enkelt, det går snabbt att samla in ett stort antal prover och både utrustning och prover är lätta att bära med sig i fält. Betydligt jobbigare var det att samla in prover från subfossila stammarna. Vi hade fått flera tips om fjällsjöar där gamla trädstammar, halvt nedsjunkna i sedimenten, var synliga. Dessa små sjöar låg naturligtvis långt ifrån bilvägar vilket innebar ett fasligt kånkande på tung utrustning, för när man tar prover från subfossila träd krävs det ordentliga grejor. Väl framme vid en lämplig sjö (vanligtvis ganska liten men djup), fick en av oss sätta på sig torrdräkt och cyklop och simma ut i det kalla vattnet för att lokalisera de sjunkna stammarna. När vi hittat en trädstam fäste vi ett rep i den och vinschade, för hand, upp den på land (se foto nästa sida). Trädstammarna, som kunde ha legat nerbäddade i sedimenten i tusentals år, kunde vara upp till 15 meter långa och extremt tunga och var naturligtvis genomfuktiga. Det gick inte att borra i dem med tillväxtborr, utan ett tvärsnitt av trädet (en s.k. trissa) togs med motorsåg. Vi tog upp alla stammar vi kunde hitta från de sjöar vi undersökte, och för att komma så lång tillbaka i tiden som möjligt genomsökte vi ett stort antal sjöar på olika nivåer inom ett stort område. Det äldsta trädet (en bamsing som levde för ca 6600 år sedan) fann vi i en liten fjälltjärn ungefär 130 meter ovanför dagens trädgräns. Nu växte det inte ens fjällbjörk där. Då vi "tömt" en sjö på stammar och provtagit dessa, lade vi tillbaka stammarna igen och bar ner de tunga trissorna till närmsta bilväg.

1100 års sommartemperaturer

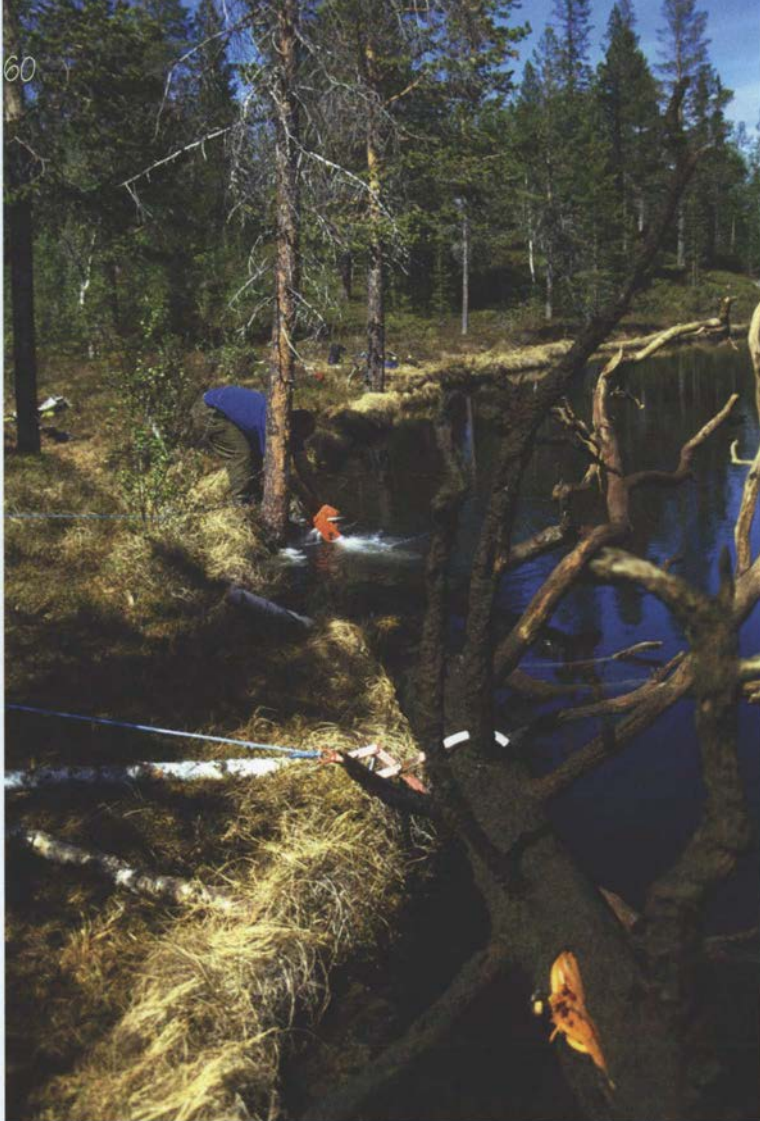
Genom att korsdatera trädringskurvorna från levande och subfossila träd byggde vi upp en dendrokronologi som, med några få glapp, sträcker sig 3600 år tillbaka i



På jakt efter subfossila trädstammar. I de kalla fjällsjöarna krävs torrdräkt för att lokalisera stammarna. Djupet och stammens riktning noteras innan den dras upp på land för provtagning.

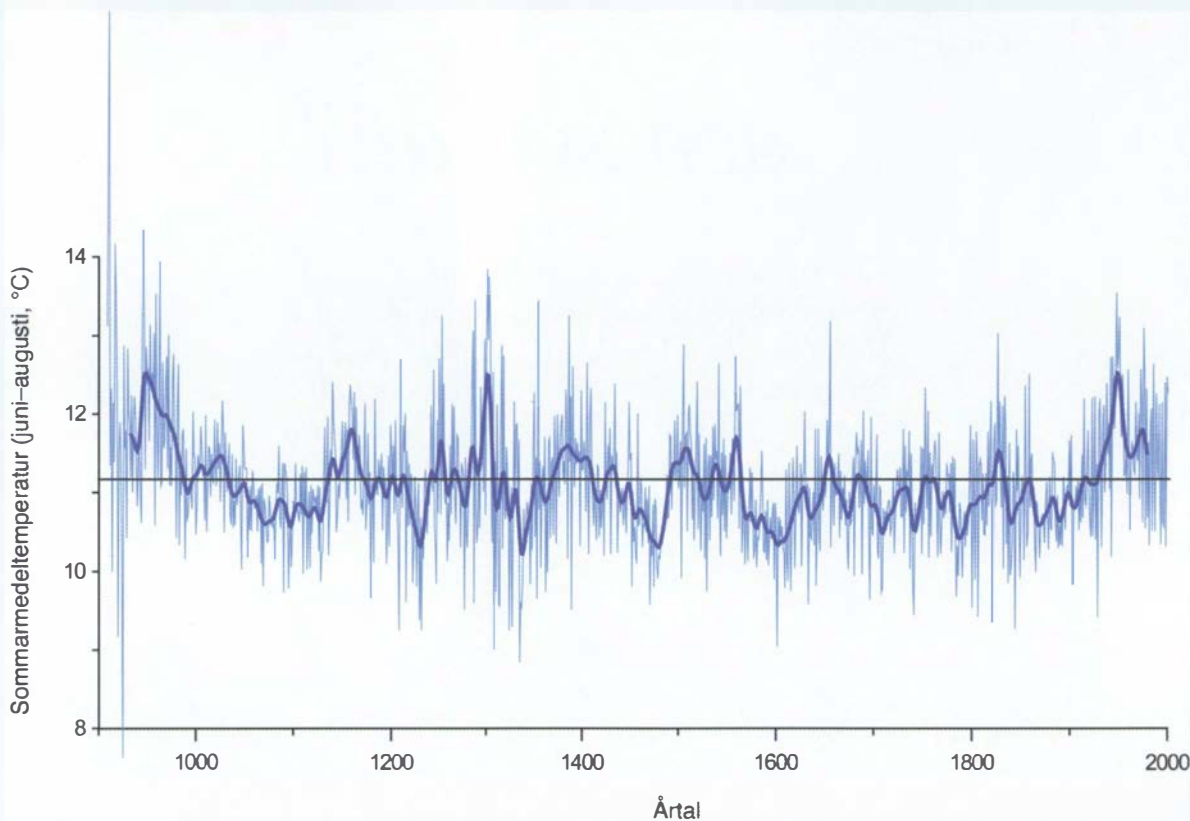
tiden. Kronologin är en mycket god sommartemperaturindikator (juni till augusti), och att den i stor utsträckning stämmer överens med liknande dendrokronologier från norra Europa tyder på att den inte bara återspeglar det lokala, utan också det regionala sommarklimatet. I figuren på sidan 61 återges den från trädringar rekonstruerade sommartemperaturen i Jämtland de senaste 1100 åren. Det är ganska tydligt att sommarklimatet varierade betydligt under denna period och att under vissa perioder var temperaturerna (åtminstoneförutsättningarna för att träden skulle växa bra) lika höga, eller t.o.m. högre, än nu. Perioder som diskuteras fylligt inom klimatologin, såsom den medeltida varmperioden och den lilla istiden är tydliga i Jämtlandstemperaturserien. Den medeltida varmperioden var den tid då Island (874 e Kr.), Grönland (985 e Kr) och Vinland (Newfoundland, ca 1000 e Kr)

Björn sågar i en subfossil stam som dragits upp ur sedimenten. Notera att en stor mängda av grenarna fortfarande finns kvar. Den här tallen hade fallit ner i sjön på 1600-talet.



koloniserades av vikingarna. Klimatet bör då rimligen ha varit gynnsamt för att klara av de arktiska farvattnen, och sommartemperaturerna i Jämtland var motsvarande dagens, kanske till och med lite varmare under mitten av 900-talet. Den medeltida varmperioden, liksom den lilla istiden, var inte en sammanhängande varmperiod, utan klimatet varierade ordentligt. Generellt sägs den medeltida varmepérioden sluta på 1200-talet. Den snabba sänkningen av sommartemperaturer runt 1300 e Kr var startskottet för en ny och kallare era; den lilla istiden. Just i övergången mellan 1200- och 1300-talet var det en period av låg solaktivitet (Wolf minimum, ca 1280–1340), som associeras med kallt klimat på jorden, vilket kan ha bidragit till temperatursänkningen. Under 1300-talet härjade pesten, "den svarta döden", i stora delar av Asien, Nordamerika och Europa. Mellan åren 1339 och 1351 dog 25–50 % av befolkningarna i de drabbade

länderna, och även om inte klimatet var huvudorsaken till pesten, kan ett kallt och blött klimat ha förvärrat effekterna av den. Den nordligaste bosättningen på Grönland övergavs i mitten av 1300-talet (längre söderut höll man sig kvar till i början på 1400-talet), och i England lades vingårdarna ner, då det blev för kallt att odla vindruvor. Efter ett något varmare slut på 1300-talet och början på 1400-talet, sjönk temperaturen igen och på 1500-talet började glaciärer att växa till ordentligt runt om i världen. Den i Jämtland så tydliga nedgången i temperatur kan återigen vara relaterad till låg solaktivitet (Spörer minimum, ca 1420–1530). Mellan 1575 och 1625 var det en ovanligt lång sammanhängande kallperiod i Jämtland, där den ovanligt kalla sommaren 1601 (9,1°C, den fjärde kallaste sommaren under de senaste 1100 åren) troligen var en effekt av den peruanska vulkanen Huaynaputina's utbrott 1600 som påverkade klimatet i stora delar av världen efterföljande



Rekonstruktion av sommar-medeltemperaturen (juni-augusti) i Jämtland under 1100 år. Den stora variationen, med väldigt varma respektive kalla somrar, i början på 900-talet, är till stor del beroende på att endast ett träd representerar den perioden. Den mörkblå tjocka linjen motsvarar ett 30-års löpande medelvärde och den horisontella linjen indikerar sommarmedeltemperaturen för de 1100 åren: 11,2°C.

år. Trots relativt trivsamt klimat under senare delen av 1600-talet, var det en ganska hög frekvens av kalla somrar runt 1700. De sammanfaller med Maunder minimum (ca 1675–1715), den kanske mest kända perioden av låg solaktivitet. Några av dessa kalla och fuktiga somrar (t ex mellan 1695–1697) innebar svår missväxt och gav dåliga skördar runt Östersjön vilket på sina håll ledde till svältkatastrofer. Detta var troligen en av orsakerna till att Sverige var mer sårbart för attacker från sina grannar och förlorade herraväldet över Östersjöregionen i början av 1700-talet. 1700-talet var en period med stora variationer mellan varma och kalla somrar. Effekten av den isländska vulkanen Laki's utbrott (1783–1784) är tydlig. Vulkanutbrottet tros ha varit ett av de värsta under hela Holocen och sommarmedeltemperaturen i Jämtland går från 11,7°C år 1782 till 9,7°C 1784 och temperaturerna håller sig låga till och med 1787. Även om 1800-talet börjar med en

uppryckning av sommartemperaturen, är somrarna generellt kalla, något som resulterar i små, men frekventa, framryckningar av glaciärer i Norge och Sverige. Under 1900-talet sker en markant uppvärmning, dock med några kalla somrar på 1970-talet, som i stort överensstämmer med bilden av de globala temperaturerna (se figur sidan 57). Jämför man medeltemperaturen för varje århundrade under denna 1100-års period, så var 1900-talet varmast (sommarmedeltemperatur: 11,5°C), och 1400-talet kallast (sommarmedeltemperatur: 10,9°C).

Hans Linderholm är fil.dr. och forskare i klimatologi vid Geovetarcentrum, Göteborgs universitet; hansl@gvc.gu.se.

...och sen då?

Jordens utveckling har gått både linjärt, i cykler och ibland kaotiskt. Hur kommer framtiden att se ut? Kommer vi att behöva flytta söderut och bli klimatflyktingar som i filmen "The day after tomorrow", eller kommer vi behöva flytta norrut för att undvika torka och överhettning? Svaret är inte givet, men forskarna har avancerade gissningar.

AV ERIK HUSS

Nu har ni läsare i detta temanummer stannat till vid några hållplatser ur jordens historia, och läst om peneplan, urgamla djurriken, katastrofer, vulkanutbrott i Sverige, träd som klimathistorieberättare och globala nedisningar som får senaste istiden att framstå som en lätt sommarsvalka. Alla dessa spår finns på plats att undersöka och tolka – so far so good. Men hur ser då framtiden ut?

I en brant strandbrink i Bahamas står geologen Paul J. Hearty och undersöker gamla kalkstenslager som separeras av röda band av förstenad jord. Dessa röda lager har bildats under forna varmperioder mellan istiderna (interglacialer) och Paul J. Hearty har kommit

hit för att leta efter distinkta kalkstenslager från 400 000 år sedan, en ovanligt lång interglacial kallad stadium 11, Marina Isotopstadiet 11 (MIS 11 på engelska)

Varför MIS 11 är så intressant är att fler och fler geologer ser stora likheter med dagens interglacial Holocen, som började när senaste inlandsisen smälte. Om vi vill veta hur framtiden blir – om polarisarna kommer att smälta och haven översvämmar kustområdena – kan MIS 11 ge oss svaret. Holocen har hittills varit i cirka 10 000 år, och statistiskt kunde vi ha varit på väg in i nästa istid om vi gör liknelser med förra interglacialen som började för 130 000 år sedan.



*Under istidsklimat torrläggs stora delar av världen på grund av allt vattensombinds upp i inlandsisarna och stora öknar breder ut sig.
Källa: University of Washington.*



Kebnekaises sydtopp sedd från Nordtoppen. Om det varmaklimatet fortsätter kommer Sydtoppen, som består av en 40 meter tjock glaciär, snart att vara lägre än Nordtoppen, som består av fast berg. Idag skiljer det bara sex meter...

Interglacialen MIS 11 varade däremot i hela 30 000 år, och världshaven steg då omkring 15 meter på grund av smältande inlandsisar. Ett sannolikt scenario om Holocen fortsätter är att den grönländska isen försvinner, liksom den västra delen av Antarktis. Den östra delen av Antarktis vilar huvudsakligen på berg som ligger över havsytan medan västra delen (som vetter mot Sydamerika) till stora delar ligger under havsytan. Översvämmande hav skulle då kunna bryta upp denna västra del. Bevisen för dessa teorier hittade geologen Reed Scheerer i alger under västantarktiska inlandsisen. Dessa alger har bara funnits de senaste 750 000 åren och kan bara ha deponerats om det var öppen hav.

Haven kommer att fortsätta stiga ända tills nästa istid sätter igång och om det dröjer ännu 20 000 år kan det bli ett stort problem för låglands- och kustsamhällen på jorden, vilket innefattar 80 procent av jordens befolkning.

Det som gör dagens klimat så känsligt är delvis astronomiska faktorer: Jordens bana runt solen är för närvarande relativt cirkulär, vilket dämpar andra astronomiska faktorer. Detta gör att klimatet är mer

känsligt för exempelvis förhöjda koldioxidhalter i atmosfären. För bara några tusen år sedan var jordens astronomiska situation sådan att vi påverkades relativt mycket av förändringar i dessa faktorer, men nu är de relativt konstanta, vilket ger mer utrymme för interna klimatpåverkande faktorer, såsom växthusgaser.

Instrålningen till jorden har minskat sedan 11 000 år, men för att en istid ska initieras måste både instrålningen till jorden (=de astronomiska faktorerna) och växthusgaserna minska.

Vidare forskning om hur interstadialen MIS 11 utvecklades och vad det var som påverkade utvecklingen kommer kanske att ge oss ett svar framöver. Tills dess får vi nöja oss med att läsa *Geologiskt forum*.

Erik Huss är projektledare för Geologins dag och har tidigare verkat som naturgeograf/glaciolog vid Stockholms universitet; erik.huss@nrm.se

GEONYTT

Under rubriken "Geonytt" uppläser *Geologiskt forum* kostnadsfritt plats för information relevant för föreningens medlemmar eller geointresserad allmänhet. Har du något du vill upplysa om, sänd informationen till tidningen senast 15/11 (adress, fax och e-post, se sid. 2). Nästa nummer kommer i december.

Geologins dag

Geologins dag initierades av Nationalkommittén för Geologi, en kommitté inom Vetenskapsakademien. Syftet var att låta vanligt folk komma i kontakt med geovetenskaperna. Den första *Geologins dag* hölls 2001. År 2002 konstituerades Föreningen för *Geologins dag* för att ansvara för den rikstäckande organisationen av *Geologins dag*. I styrelsen sitter representerar för SGU, geologiska föreningar geovetenskapliga institutioner och företag inom geovetenskap.

Medlemskap i Föreningen *Geologins dag* är öppen för privatpersoner, organisationer och företag. Medlemsavgiften om 100 kr betalas till postgiro 39 05 37-9. För mer information se: www.geologinsdag.nu.

En prenumeration

på *Geologiskt forum* 2004 (nr 41–44) kostar 160 kr. **Gör så här:** betala 160 kr till **Swedish Science Press** på postgiro 489 78 50-6 eller bankgiro 914-4601. Märk inbetalningskortet Geologiskt forum 2004.

Geologiska Föreningen

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

Gör så här: betala medlemsavgiften till **Geologiska Föreningen** på postgiro 2108-9. Märk inbetalningskortet Ny medlem (alt. ny studerandemedlem) i Geologiska Föreningen, avgift för 2004.

Skriv tydligt namn och adress på inbetalningskortet, tack!

Ordinarie lösnrpris *Geologiskt forum* nr 43 är 50 kr. Information angående äldre volymer av *Geologiskt forum* fås via redaktionen; gff@geo.su.se, eller beställs av Swedish Science Press (se sidan 2 för information).

GEOLOPPIS

Under rubriken "Geoloppis" intas gratis annonser från privatpersoner. Det kan gälla böcker, utrustning, samlingar, etc. Beskriv objektet, ange pris, avsluta med telefon-, 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.

SÄLJES: De mellansvenska jämmalmernas geologi, Geijer & Magnusson. SGU ser Ca 35. Tel. 070-6618622.

SÄLJES: GFF 1971–2002 (Vol. 93–124) för 300 kr. Tel. 08-5195 4071.

FÖRENINGEN FÖR GEOLOGINS DAG STYRS AV SVERIGES GEO-ORGANISATIONER

Organisation

Amatörgeologiska föreningar
Byggnadsgeologiska sällskapet (BGS)
Geologiska Föreningen
Geologiska studentföreningar
Industriföretag
KVA/Nationalkommittén för Geologi
Naturhistoriska Riksmuseet
Naturvetarförbundet / Geologsektionen
Småföretag
Sveriges Bergmaterialindustri
Universitet och högskolor
Gruvindustrin/ Svenska Gruvföreningen
Geologins dag

Ordinarie ledamot

Jan Wennerstrand, SAGS (kassör)
Kennert Röshoff, Bergbyggkonsult
Joakim Mansfeld, Stockholms universitet
Ilka von Dalwigk, Geologklubben vid SU
Björn Strokirk, SKB
Håkan Sjöström, Uppsala universitet
Christina Franzén-Bengtson, Paleozoologi, NRM
Christer Åkerman, SGU
Leif Carserud, Geodeon
Lars Hultkvist, SBMI (ordförande)
Elisabeth Däcker, Stockholms universitet
Annika Wasström, Boliden Mineral AB (v. ordförande.)
Erik Huss (adjungerad, sekreterare)

Suppleant

Torbjörn Jonsson
Fredrik Bengtsson
Birger Schmitz
Jaana Hode Vuorinen
Linnea Sandvall
Karin Eriksson
Stefan Claesson
Monica Beckholmen
Gunnar Hultqvist
Riitta Lindström
Alasdair Skelton
Kurt Johansson

GEOLOGISKA FÖRENINGENS STYRELSE 2004

Birger Schmitz, ordf., Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, tel. 046-222 78 69; birger.schmitz@geol.lu.se
Mats Rundgren, sekr., Geol. inst., Kvartärgeol. avd., Lunds universitet, Sölveg. 12, 223 62 Lund, tel. 046-222 78 56; mats.rundgren@geol.lu.se
Katarina Persson, skattm., Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-1793 58; katarina.persson@sgu.se
Joakim Mansfeld, red., Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel. 08-674 77 27; gff@geo.su.se
Dan Holtstam, ledam., Sekt. f. mineralogi, Naturhistoriska riksmuseet, Box 50007, 104 05 Stockholm, tel. 08-5195 40 76; dan.holtstam@nrm.se
Ulf Quarfort, ledam., Inst. för geovetenskaper, Uppsala universitet, Villav. 16, 752 36 Uppsala, tel. 018-471 25 68; ulf.quarfort@natgeo.uu.se
Pär Weihed, ledam., Luleå tekniska universitet, 971 87 Luleå, tel. 0920-491371; par.weihed@sb.luth.se



den svenska föreningen för vetenskaplig, tillämpad och populär geologi

<http://www.geologiskaforeningen.nu>